Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen
Direktor: Professor Dr. S. Weller

Indikationen, Technik und Ergebnisse der autologen Knochentransplantation

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
SABINE BORELL-KOST GEB. BORELL
aus Freiburg im Breisgau

1984

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen
Direktor: Professor Dr. S. Weller

Indikationen, Technik und Ergebnisse der autologen Knochentransplantation

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
SABINE BORELL-KOST GEB. BORELL
aus Freiburg im Breisgau

1984

Dekan:	Professor Dr. D. Plester
1. Berichterstatter:	Privatdozent Dr. U. Holz
2. Berichterstatter:	Professor Dr. J. Gekeler

gedruckt bei H.-J. Köhler · Reprografischer Betrieb · Tübingen

Danksagung

Für die Überlassung des Themas danke ich Herrn Priv.Doz. Dr. U. Holz, der mich durch zahlreiche Anregungen und großes Interesse während der Durchführung meiner Arbeit sehr unterstützte.

Für die Hilfe bei der Beschaffung des Dokumentationsmaterials und für die Anfertigung der photographischen Arbeiten danke ich den Mitarbeitern in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK	1
II.	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	4
III.	VERFAHREN DER GEWINNUNG UND TRANSPLANTATION VON AUTOLOGEM KNOCHENGEWEBE	7
	1. Gewinnung des autologen Knochengewebes	7
	2. Anlagerung des Knochentransplantats	9
	3. Autologe Knochentransplantation am Os naviculare	11
IV.	MATERIAL UND METHODEN	12
	1. Berücksichtigte Daten der Krankengeschichten	12
	1.1. Alter und Geschlecht der Patienten	12
	1.2. Indikationen	12
	1.3. Anatomische Orte	13
	1.4. Entnahmestelle und Art des Knochentransplantats	13
	1.5. Zeitpunkt der Transplantation	14
	1.6. Komplikationen und Fehlerrate	14
	1.7. Zusätzliche operative Verfahren und Nachbehandlung	14
	2. Auswertung der Röntgenbilder	14
	2.1. Einheilungszeit	14
V.	ERGEBNISSE	16
	1. Frakturen	18
	1.1. Frakturen: geschlossen und offen	19
	1.2. Frakturen: Ulna/Radius	21
	1.3. Frakturen: Humerus	21
	1.4. Frakturen: Femur	22
	1.5. Frakturen: Tibia/Fibula	23

Seite

2. Osteotomien 24
2.1. Osteotomien: Ulna/Radius 24
2.2. Osteotomien: Femur 25
2.3. Osteotomien: Tibia/Fibula 26
3. Pseudarthrosen 27
3.1. Pseudarthrosen: Clavicula 27
3.2. Pseudarthrosen: Ulna/Radius 28
3.3. Pseudarthrosen: Humerus 29
3.4. Pseudarthrosen: Femur 29
3.5. Pseudarthrosen: Tibia/Fibula 30
3.6. Pseudarthrosen: Os naviculare 31
4. Zysten und Nekrosen 32
5. Einheilungszeiten bei allen Indikationen, primär ausbleibende Heilungen und Komplikationen 34

VI. DISKUSSION 61

VII. ZUSAMMENFASSUNG 60

VIII. LITERATURVERZEICHNIS 62

I. GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Die verschiedenen Transplantationsmaterialien - autolog, homolog und heterolog - und ihre Vorbehandlung - frisch überpflanzt, konserviert und maceriert - wurden seit Ollier unterschiedlich bewertet. Ollier (1867) folgerte aus seinen experimentellen Knochenüberpflanzungen, daß transplantierter Knochen und Periostlappen unter bestimmten Umständen am Leben erhalten werden könnten. Die Knochenneubildung sollte von Osteoblasten des Periosts, aber auch von Zellen des Marks und der Haversschen Kanäle ausgehen. Aufgrund seiner mikroskopischen Befunde an transplantierten Knochenscheiben nach Schädeltrepanation behauptete Barth (1893, 1894, 1895) jedoch, daß der Knochen in allen seinen Teilen absterbe und durch neugebildete Knochensubstanz des knochenbildenden Nachbargewebes ersetzt wird. Sein Schüler Marchand (1899, 1901) 1901) kam zu den Ergebnissen, daß das Periost die freie Überpflanzung gut verträgt und in der Lage ist, neuen Knochen zu bilden; frisch transplantierter, spongiöser und kompakter Knochen nekrotisiert jedoch rasch.

Entscheidende Bedeutung gewannen die Ergebnisse von Axhausen (1908, 1909). Durch seine Untersuchungen stellte er fest, daß das Periost autologer Transplantate am besten überlebt und osteogenetische Aktivität aufweist; das Periost homologer und heterologer Transplantate geringer bzw. nicht überlebt. Axhausen (1909) vertrat die Ansicht, daß die überpflanzte harte Knochensubstanz im wesentlichen abstirbt, Periost und Mark am Leben erhalten bleiben und von diesem knochenbildungsfähigen Gewebe innerhalb weniger Tage die einsetzende Knochenneubildung ausgeht. Sind kaum noch knochenbildungstätige Zellen vorhanden, ist die Osteogenese vom Vorhandensein absterbenden Knochengewebes abhängig. Diese Auffassung wurde vor allem von Lexer (1924) und Axhausen (1945) als "klassische Osteoblastenlehre" vertreten. Petrow (1914) und andere Autoren vertraten hingegen die Ansicht, daß die Hauptquelle für die Regeneration des Knochen-

umbaus das Bindegewebe ist, das eine metaplastische Knochenneubildung verursacht. Ausgehend von der bisherigen Meinung, daß zwischen den autologen und homologen Transplantaten nur ein gradueller Unterschied ist, hat Lexer homologe Transplantate in größerer Anzahl am Menschen verpflanzt. Lexer (1924, 1925) kam zu dem Ergebnis, daß das Überleben osteogenetischer Zellen bei der Autoplastik am sichersten ist und deshalb der Autoplastik der Vorrang vor der Homoioplastik gegeben werden muß. Er unterschied zwischen einem ersatzunfähigen, ersatzschwachen und ersatzstarken Lager, das für die Einheilung der knöchernen Transplantate entscheidend ist. Weiterhin sah Lexer eine wichtige Voraussetzung in der absoluten mechanischen Ruhe am Transplantationsort.

Bis jetzt betrafen die experimentellen und klinischen Erfahrungen meistens die Verpflanzung von Kortikalisspänen. Zum ersten Mal beschäftigte sich Matti (1932) ausführlich mit Spongiosaverpflanzungen. Matti wies nach, daß eine genügende Anzahl von Knochenzellen in der Spongiosa bei der Transplantation am Leben bleiben. Neuere Arbeiten von Stringa (1957), Urist et al. (1965), Ecke et al. (1967), Schweiberer (1970) und Schramm (1970) konnten diese Ergebnisse bestätigen. Außerdem hob Matti (1932) die schnelle Revaskularisation der Spongiosa hervor, durch die der Abbau in der Spongiosa rascher erfolgt als in kompakten Transplantaten. 1963 wies Frost nach, daß die Knochenumbaurate in der Spongiosa 3 x so hoch ist wie in der Kompakta.

Matti (1932) sah den Nachteil der Spongiosatransplantation in der geringeren Festigkeit des Spongiosaspans gegenüber dem Kortikalisspan. Da dem transplantierten Knochen bei entsprechender Anlagerung auch eine schienende Funktion zukommt, kamen unter anderem feste periostgedeckte Späne (Albee 1921, Lexer 1936), biegsame Knochenspäne (v. Ertl 1939) und periostlose Anlegespäne (Phemister 1947) zur Anwendung. Axhausen (1951, 1952, 1962) beschrieb als erster die Osteogenese als zweiphasigen Vorgang. Dies wurde später von Chalmers (1959) und Burwell (1965) bestätigt und behält durch neue experimentelle Untersuchungen bis heute seine

Gültigkeit (Decker et al. 1976, Dambe et al. 1981). In der ersten Phase bleiben transplantierte Knochenzellen anfangs durch Diffusion, später durch Revaskularisation am Leben und sind wesentlich an der Knochenneubildung beteiligt. In der zweiten Phase induzieren pluripotente mesenchymale Zellen des Lagergewebes unter dem Einfluß der in Resorption begriffenen nekrotischen Knochengrundsubstanz zu Osteoblasten. Schweiberer (1970) machte Mukopolysaccharidanteile der Grundsubstanz für eine Osteoinduktion verantwortlich.

II. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Nach dem heutigen Kenntnisstand wird dem autologen Knochentransplantat aufgrund seines unmittelbaren Einheilungsvorganges der größte Stellenwert eingeräumt. Der Einbau des homologen Transplantates wird durch die am 7.-30. Tag einsetzenden immunologischen Abwehrreaktionen verzögert. Eine Immunantwort auf die individualspezifischen Proteinstrukturen führt zum Untergang aller überpflanzter Zellen. Lediglich die Grundstruktur des Transplantates bleibt erhalten. Sie induziert pluripotente Mesenchymzellen des Lagergewebes zu Osteoblasten (Chalmers 1959, Schweiberer 1970, Urist et al. 1974). Trotz der verminderten osteogenetischen Potenz und der daraus resultierenden verzögerten Einheilung wird das homologe Transplantat vor allem bei stabilen Lagern mit guten Erfolgen eingesetzt. Das heterologe Knochentransplantat findet nur vereinzelt Anwendung. Zur Verbesserung der Heilerfolge wurden spezielle Verfahren wie Kältekonservierung und Maceration entwickelt. Aber durch die Zerstörung der zellulären Elemente geht auch der Einfluß auf die Osteogenese verloren (Schweiberer 1971).

Eine erfolgreiche Knochentransplantation ist nur bei folgenden Voraussetzungen möglich: eine ausreichende Vaskularisation des Transplantationslagers, biomechanische Ruhe im Transplantationslager, stabile Fixation des Transplantats und funktionelle Beanspruchungen des Transplantats (u.a. Lexer 1924, Stringa 1957, Schweiberer 1971, Sauer et al. 1978, van der Werken et al. 1979).

Die Spongiosaplastik dient primär nicht der Stabilisierung. Durch die Möglichkeit der Verbindung von Transplantation und stabiler Osteosynthese kann die Indikation zur autologen Spongiosaplastik heute sehr weitgefaßt werden. Ergebnisse experimenteller Untersuchungen (Decker et al. 1979, 1980, Saur et al. 1979) zeigten die Bedeutung der raschen und vollständigen Revaskularisation des gesamten Transplan-

tats. Die Revaskularisation fördert die osteogenetische Eigenleistung des autologen Spongiosatransplantats. Leicht revaskularisierende lockere Gerüststruktur der Spongiosa besitzt eine große osteogenetische Potenz. Nach Eitel et al. (1970) ist die komprimierte Spongiosa zwar in ihrer osteoinduktiven Substanz erhöht, die biologische Wertigkeit dieser Spongiosa ist jedoch geringer als die der unveränderten. Demgegenüber wiesen Burri und Wolter (1977) nach, daß in erster Linie die Menge der übertagenen, frischen, unveränderten Grundsubstanz für die osteogenetische Potenz des Knochentransplantats verantwortlich ist und eine erhöhte Knochenumbaurate durch Kompression der Spongiosa erreicht werden kann (Wolter et al. 1974, 1975). Der früher häufig verwendete autologe Kortikalisspan, der sogenannte "Lexer-Prügel", hat wohl durch die stabile Osteosynthese an seiner Bedeutung verloren.

Da die Anwendungsgebiete der autologen Knochentransplantationen durch die Verfahren der stabilen Osteosynthese sehr erweitert wurden, sollten in der vorliegenden Arbeit die Hauptindikationen der autologen Knochentransplantation unter aseptischen Bedingungen an den langen Röhrenknochen und ihre Behandlungsergebnisse zusammengefaßt und ausgewertet werden. Durch die röntgenologischen Kontrollen des Heilungsverlaufs kann die strukturelle Einheilung des knöchernen Transplantats beobachtet und die Einheilungszeit grob bestimmt werden. Häufig angewandte Techniken, die einmal die Knochenentnahme, zum anderen die Anlagerungsform am Knochendefekt betrafen, sollten beschrieben werden. Ihre Bewertung mußte aufgrund des Einheilungsverlaufs vorgenommen werden. Die bei der Knochentransplantation aufgetretenen Komplikationen und Mißerfolge und ihre weitere chirurgische Behandlung sollten aufgezeichnet werden. In Zusammenfassung und Gegenüberstellung der einzelnen Daten von 397 Fällen sollte versucht werden, möglichst optimale Bedingungen für eine der Indikation entsprechende Knochentransplantation zu finden. Dabei muß die Anlagerungsart des Transplantats in Abhängigkeit zur Indikation und Größe des Defektes berücksichtigt werden.

Für die Begriffe autolog, homolog und heterolog sind in der Terminologie der Gewebetransplantation die neuen Bezeichnungen autogen, allogen und xenogen eingeführt worden. Da in der Literatur über Knochentransplantation häufiger noch die alten Bezeichnungen benutzt werden, wurden in der vorliegenden Arbeit durchgehend die Begriffe autolog, homolog und heterolog verwendet.

III. VERFAHREN DER GEWINNUNG UND TRANSPLANTATION VON AUTOLOGEM KNOCHENGEWEBE

1. Gewinnung des autologen Knochengewebes

Das spongiöse und kortiko-spongiöse Knochengewebe wird am häufigsten aus dem vorderen inneren und hinteren Beckenkamm entnommen, seltener aus dem Trochanter.

Klinisch weniger bedeutend und allenfalls für die Gewinnung kleiner Spongiosamengen geeignet sind die spongiösen Bezirke des Schienbeinkopfes und der proximalen Ulna.

a) Entnahmetechnik am vorderen inneren Beckenkamm

Nach einem Hautschnitt über dem Beckenkamm wird der M. iliacus von der Innenseite der Crista iliaca zur subperiostalen Freilegung des Os ilium abgelöst. Nach Absägen eines Tangentialspans kann von der Schnittfläche kortiko-spongiöses Knochengewebe mit dem Hohlmeisel entnommen werden (Abb. 1a). Diese Entnahmestelle eignet sich besonders zur Gewinnung von kortiko-spongiösen Spänen; reine Spongiosa ist nicht so reichlich vorhanden.

b) Entnahmetechnik am hinteren Beckenkamm

In Seitenlage erfolgt ein Hautschnitt dorsal der Spina iliaca, der je nach Bedarf von größeren Mengen verschieden weit nach dorsal geführt wird. Besonders in der Nähe der Iliosakralfuge läßt sich reichlich Spongiosa gewinnen. Faszie und Periost werden durchtrennt. Auch hier muß die Kortikalis abgemeißelt oder ein Kortikalisfenster abgeschlagen werden. Das Knochengewebe wird mit einem scharfen Löffel entnommen (Abb. 1b).

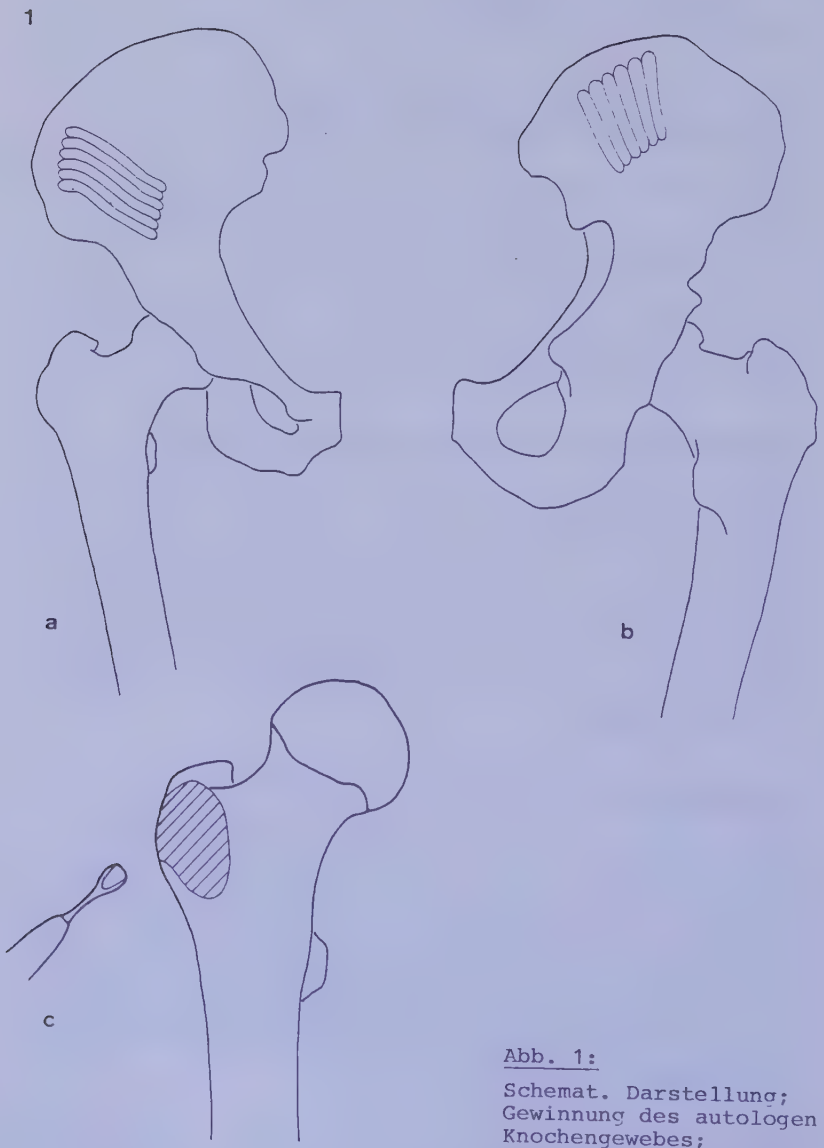


Abb. 1:

Schemat. Darstellung;
Gewinnung des autologen
Knochengewebes;
a) Entnahme am vorderen
Beckenkamm; b) Entnahme
am hinteren Beckenkamm;
c) Entnahme am Trochanter.

c) Entnahmetechnik am Trochanter

Nach einem Hautschnitt wird die Fascia lata gespalten und ein Kortikalisfenster an der Trochanterseitenwand angelegt. Danach kann Spongiosa mit dem Löffel gewonnen werden (Abb. 1c).

d) Entnahmetechnik des Rippentransplantats

Nach einem Hautschnitt im Bereich des Thorax schräg unterhalb der Mamille wird eine Rippe freigelegt und entnommen.

2. Anlagerung des Knochentransplantats

Die Techniken der Einpflanzung des autologen Knochens sind bei den einzelnen Indikationen unterschiedlich. Bei additiven Osteotomien wird zwischen die Osteotomieschnittflächen ein Block eingestanzt, der dem Spalt entsprechend exakt zugeschnitten wurde (Abb. 2a). Auf diese Weise kann durch eine stabile Korrektur die Fehlstellung behoben werden. Kleine und größere Defekte bei Frakturen oder Defektpseudarthrosen können mit kortiko-spongiösem Material, das in Form von kleinen Spänen, Chips oder Bröckel vorliegt, dicht aufgefüllt werden (Abb. 2b). Granulationsgewebe, altes Narbengewebe und avitale Bezirke müssen vollständig entfernt werden, um einen raschen Anschluß des frischen Transplantats an das vorhandene Knochengewebe zu ermöglichen.

Bei Frakturen wird häufig ein kortiko-spongiöser Span als Abstützung gegenüber einer Osteosyntheseplatte angelagert (Abb. 2c). So kann zum Beispiel im Bereich mehrerer Trümmerfragmente eine fehlende knöcherne Abstützung ersetzt werden. Vor allem bei den Pseudarthrosen wird zur Stimulierung der Osteogenese und der Verbesserung des Transplantatlagers zusätzlich eine Dekortikation durchgeführt (Abb. 2d). Zahlreiche kleine Kortikalisscheiben werden zwiebelschalenartig im Bereich der Bruchstelle abgemeißelt, ohne jedoch

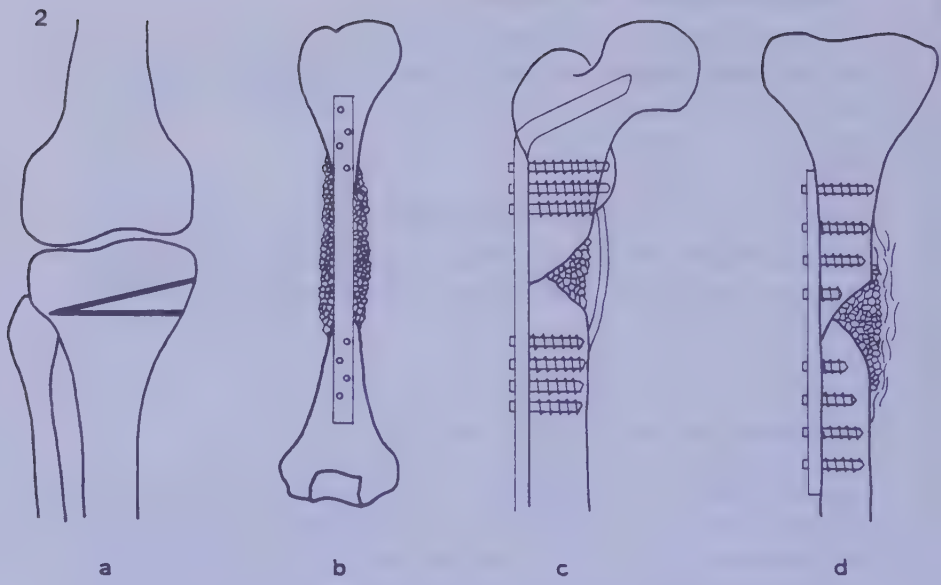


Abb. 2: Schemat. Darstellung; Anlagerung des Knochentransplantats;
a) Interposition eines kortikospongiösen Blocks zwischen die Osteotomieschnittflächen; b) Auffüllung eines Knochendefektes mit Spongiosachips; c) Anlagerung eines Knochenspans (Rippe, Beckenkamm) gegenüber der Osteosyntheseplatte und Auffüllung des Knochendefektes mit Spongiosa; d) Dekortikation.

ihre Verbindung zu den umgebenden Weichteilen zu unterbrechen (Willenegger 1969). Auf diese Weise erhält man einmal kleine Knochentransplantate, zum anderen eine Eröffnung des Haversschen Systems des kortikalen Knochens. Auch bei verzögerter Knochenbruchheilung kann dadurch eine Verbesserung des Transplantatlagers erreicht werden.

3. Autologe Knochentransplantation am Os naviculare

Die Pseudarthrosen des Os naviculare werden nach der von Matti-Russe (1937, 1954) angegebenen Technik behandelt. Über einen volaren Längsschnitt zwischen der Sehne des M. flexor carpi radialis und der Arteria radialis gelangt man auf die Gelenkkapsel und eröffnet das Gelenk. Am Os naviculare wird ein längliches Kortikalisfenster abgehoben. Die derbe Pseudarthrosenwand wird entfernt. Proximales und distales Fragment werden sorgfältig mit feinen Kugelfräsen ausgehöhlt bis sämtlicher avitaler Knochen entfernt ist und gut durchblutete Spongiosa sichtbar wird. Die exakte Beseitigung der sklerosierten und schlecht durchbluteten Bezirke ist für eine sichere Einheilung des kortiko-spongiösen Blocks äußerst wichtig.

Die Enden der beiden Knochenfragmente werden nun mit Spongiosa vom Beckenkamm ausgefüllt. Ein kortiko-spongiöser Block wird entsprechend der Größe des Defektes zugeschnitten und unter Spannung in die beiden Fragmente eingebolzt. Restliche kleine Lücken werden mit Spongiosachips ausgestopft. Danach wird das Kortikalisfenster wieder eingesetzt.

IV. MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchung erfaßt 397 klinische Fälle, bei denen im Zeitraum von Januar 1975 bis Ende Juni 1980 an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen eine autologe Knochentransplantation durchgeführt wurde. Nicht berücksichtigt sind die autologen Knochentransplantationen bei infizierten Frakturen und Pseudarthrosen. Die Krankengeschichten wurden mittels Operationsbücher und Computerabfrage ausgewählt.

1. Berücksichtigte Daten der Krankengeschichten

1.1. Alter und Geschlecht der Patienten

Um mögliche alters- und geschlechtsspezifische Abhängigkeiten zur Einheilungszeit erkennen zu können, wurden diese beiden Merkmale notiert.

1.2. Indikationen

In die Untersuchung wurden vier Indikationsbereiche einbezogen: Frakturen, Pseudarthorsen, Osteotomien und Zysten. Bei den Frakturen wurde unterschieden zwischen geschlossenen und offenen. Auch die verschiedenen Bruchformen Defektfrakturen, Trümmerfrakturen, Stauchungsfrakturen mit Substanzdefekt und Impressions-, Depressionsfrakturen wurden berücksichtigt.

Da eine klare Unterscheidung zwischen Pseudarthrose und verzögerter Heilung (Müller et al. 1969) klinisch oft schwierig ist, sind die Fälle der verzögerten Heilung bei

den Pseudarthrosen eingereiht. Beim Ausbleiben der Knochenheilung innerhalb von 4-6 Monaten spricht man von verzögerter Heilung; alle nach dem 8. Monat nicht konsolidierten Frakturen werden als Pseudarthrose definiert (Müller et al. 1969). Eine Trennung der Pseudarthrose in atrophe und hypertrophe konnte aufgrund des vorliegenden Materials nicht sicher erfolgen. Überwiegend wird autologer Knochen bei avaskulären Pseudarthrosen und Defektpseudarthrosen verwendet.

Sämtliche Knochentransplantationen bei Fehlstellungen und Verkürzungen wurden den Korrekturosteotomien zugeordnet.

Unter den Zysten wurden einmal als tumorähnliche Veränderungen, die juvenile und aneurysamtische Zyste und zum anderen als degenerative Erscheinung die Femurkopfnekrose aufgeführt.

1.3. Anatomische Orte

Als anatomische Orte wurden bei den vier Indikationen durchgehend Ulna, Radius, Humerus, Femur, Tibia und Fibula gewählt. Bei den Pseudarthrosen wurde noch die Clavicula und das Os naviculare mitberücksichtigt.

1.4. Entnahmestelle und Art des Knochentransplantats

Die Entnahmestellen wurden alle zahlenmäßig erfaßt, um ihre jeweilige Bedeutung in der klinischen Praxis zu erkennen. Außerdem erfolgte eine Unterscheidung des Transplantats in reines spongiöses und kortiko-spongiöses Material, wobei die Entnahmeart des Knochentransplantats als Span, Block, Chips, Bröckel oder in Kombination mit Dekortikation notiert wurde.

1.5. Zeitpunkt der Transplantation

Bei den verschiedenen Indikationen wurde festgehalten, ob es sich um eine Erst- oder eine Spätversorgung handelte. Besonders bei den Pseudarthrosen wurde eine Unterteilung des Alters der Pseudarthrose in weniger als 6 Monate, 6-12 Monate, 12-24 Monate und älter als 24 Monate vorgenommen, um deren Abhängigkeit von der Einheilungszeit zu erfassen.

1.6. Komplikationen und Fehlerrate

Die Komplikationen sind für den Empfänger- und Entnahmeort des Transplantats getrennt aufgeführt. Die Fälle, bei denen kein Einbau des Knochentransplantats erfolgte, wurden, soweit es die Unterlagen zuließen, weiter bearbeitet.

1.7. Zusätzliche operative Verfahren und Nachbehandlung

Neben der Transplantation wurde berücksichtigt, ob zusätzlich eine stabile Osteosynthese, ein Gips oder ein Verband angelegt worden ist. Weiterhin fand die Art der Nachbehandlung Beachtung.

2. Auswertung der Röntgenbilder

2.1. Einheilungszeit

Die Einheilungszeit des spongiösen und kortiko-spongiösen Materials muß bei den einzelnen Indikationen unterschiedlich beurteilt werden. Bei den Zysten kann man das Knochentransplantat als Defektauffüllung betrachten, die aus homogenem

spongiösem oder kortiko-spongiösem Material aufgebaut sein sollte. Das Transplantat galt als klinisch eingeheilt, wenn kein Resorptionssaum sichtbar und die Zyste weitgehend nicht mehr zu erkennen war. Manchmal waren neben kalkdichteren Knochenstrukturen noch rundliche Strukturaufhellungen zu erkennen, die aber nicht als Rezidive gedeutet wurden.

Bei den Frakturen, Pseudarthrosen und Korrekturosteotomien wurden folgende Beurteilungskriterien für die Einheilungszeit des Transplantats benutzt. Hier handelt es sich jeweils um einen Spalt, der knöchern überbrückt werden muß. Bei der Beurteilung der Einheilungszeit wurde darauf geachtet, daß der Spalt im Röntgenbild nicht mehr sichtbar war und sich eine regelmäßige Knochenbälckchenstruktur aufgebaut hatte, die gleichmäßig und durchgehend ausgerichtet sein sollte.

Handelte es sich um eine mediale Abstützung des Knochenimplantats (Abb. 2c), galt sie als eingeheilt, wenn sie festen Anschluß an den Knochen gefunden hatte und eine Strukturierung erkennbar war.

Zur Auswertung dieser Ergebnisse wurden die postoperativen Röntgenbilder herangezogen, die routinemäßig in gewissen Zeitabständen nach der Operation angefertigt wurden. Aus diesem Dokumentationsmaterial läßt sich für die klinischen Belange hinreichend genau der Einbau des Transplantats bestimmen, auch wenn gelegentlich größere Zeitspannen zwischen den einzelnen Aufnahmen lagen.

V. E R G E B N I S S E

Von den 397 untersuchten Fällen war es bei 40 Patienten bereits der zweite Versuch, den Knochendefekt mittels einer Knochentransplantation zu heilen. In 40 Fällen konnte die Einheilungszeit der Transplantate nicht bis zum Abschluß verfolgt werden, da die weitere Betreuung der Patienten andernorts erfolgte.

Tabelle 1 zeigt in einer Gegenüberstellung die Vergleichszahlen der homologen Knochentransplantationen, die im gleichen Zeitraum bei gleicher Indikationsstellung an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen ausgeführt wurden. Die bevorzugte Knochenentnahmestelle ist der vordere innere und hintere Beckenkamm. Bei 357 Patienten wurde hier Knochenmaterial entnommen, bei 23 Patienten wurde hingegen das Knochengewebe am Trochanter gewonnen. Der Trochanter wurde als Entnahmestelle gewählt, wenn das Operationsgebiet im Femurbereich lag. Die anderen Entnahmestellen Unterschenkel (12), Oberarm (1) und Unterarm (4) waren zahlenmäßig bedeutungslos. In 6 Fällen wurde ein Rippentransplantat eingesetzt.

Bei den einzelnen Indikationen wurde unterschieden, ob rein spongiöses oder kortiko-spongiöses Material verwendet worden war. Häufig brachte man kortiko-spongiöse Späne in den Defekt ein und füllte dann die restlichen Lücken mit reiner Spongiosa aus. Hinsichtlich der Einheilungszeit ergaben sich keine bedeutenden Unterschiede. Bei den Frakturen und Pseudarthrosen jedoch tritt eine leicht erhöhte Fehlerrate bei kortiko-spongiösem Material auf.

Für die unterschiedlichen Indikationen wurden verschiedene Anlagerungsarten bevorzugt angewendet. Bei den Osteotomien ist das häufigste Transplantat ein größerer Block oder Span, der maßgerecht an die Schnittstelle eingesetzt wird und einzelne Lücken noch mit lockerer Spongiosa ausgestopft werden (Abb. 2a). Seltener werden Chips verwendet (Tab. 2).

Tab. 1: Autologe und homologe Knochentransplantationen von Januar 1975 bis Ende Juni 1980 bei gleicher Indikationsstellung an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen; n = Anzahl der Patienten.

Indikation	Autolog n = 397	Homolog n = 77
Fraktur		
Ulna/Radius	5	1
Humerus	3	2
Femur	24	7
Tibia/Fibula	33	11
Pseudarthrose		
Ulna/Radius	22	7
Humerus	12	12
Femur	39	11
Tibia/Fibula	37	11
Clavicula	6	1
Os naviculare	119	-
Osteotomie		
Ulna/Radius	3	-
Humerus	-	-
Femur	18	1
Tibia/Fibula	48	4
Zysten		
Ulna/Radius	2	2
Humerus	5	5
Femur	14	2
Tibia/Fibula	7	-

Während bei den Pseudarthrosen häufig die Dekortikation zur Anwendung kommt, werden bei den Frakturen und Zysten zumeist Chips in den Defekt eingesetzt (Tab. 2).

Bei den Patienten der verschiedenen Altersgruppen ließen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Einheilungszeit feststellen.

Tab. 2: Verschiedene Anlagerungsarten des Knochentransplantats bei den verschiedenen Indikationen

	Block/Span (Rippe)	Chips/Bröckel	Dekortikation
Fraktur	2	60	3
Pseudarthrose (ohne Os nav.)	4	73	39
Osteotomie	43	25	1
Zyste	6	22	-

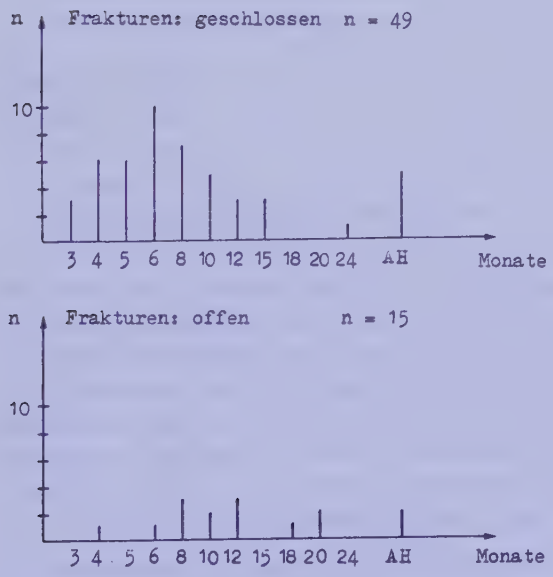
1. Frakturen

Vor allem bei Defekt- und Trümmerfrakturen am Femur, bei Stauchungsfrakturen an Radius oder Ulna und bei Impressions- und Depressionsfrakturen im Tibiakopf kommt die primäre oder sekundäre autologe Knochentransplantation an den langen Röhrenknochen zur Anwendung. In allen untersuchten Fällen wurden die Frakturen durch Osteosynthese stabilisiert. Die frühfunktionelle Bewegungstherapie wurde wie sonst nach operativer Frakturbehandlung zwei Tage postoperativ begonnen.

1.1. Frakturen: geschlossen und offen

Die Einheilungszeit der Transplantate bei offenen Frakturen ist gegenüber den geschlossenen Frakturen deutlich verlängert. Während bei den geschlossenen Frakturen das Knochentransplantat in 70 % der Fälle bis zum 8. Monat strukturiert eingeheilt ist, ist bei gleichem Prozentsatz der Patienten die strukturelle Einheilung des Transplantats bei offenen Frakturen nach 12 Monaten vollzogen (Tab. 3).

Tab. 3: Einheilungszeiten des autologen Knochengewebes bei geschlossenen und offenen Frakturen nach röntgenologischen Befunden.
Abszisse: Einheilungszeiten (Monate); Ordinate: Anzahl der Heilungserfolge; n = Anzahl der Patienten;
AH: Primär ausbleibende Heilung (Anzahl)



Die Ursache kann darin liegen, da bei den offenen Frakturen zusätzlich oft große Weichteildefekte bestehen und die Infektionsrate 6-8 % höher als bei geschlossenen Frakturen ist. Man muß jedoch berücksichtigen, daß die Vergleichszahl der offenen Frakturen gering ist (Tab. 4).

Tab. 4: Anzahl der primären autologen Knochentransplantationen zur Behandlung offener und geschlossener Frakturen; n = Anzahl der Patienten

Frakturen	geschlossen n = 49	offen n = 15
Radius/Ulna	3	2
Humerus	2	1
Femur	21	3
Tibia/Fibula	23	9

Bei den geschlossenen Frakturen heilte das autologe Knochentransplantat in 5 Fällen nicht ein. Infolge einer instabilen Osteosyntheseplatte an einer Vorderarmschaftfraktur entwikkelte sich eine Pseudarthrose, die nach einer autologen Knochentransplantation mit Dekortikation in 6 Monaten ausheilte. Nach drei Trümmerfrakturen am Femurschaft entstanden trotz reichlich angelagertem Knochengewebe und stabiler Osteosyntheseplatten Pseudarthrosen, bei einem Patienten eine Infektpseudarthrose. Im Pseudarthrosenbereich wurde eine Dekortikation durchgeführt und nochmals autologes Knochengewebe angelagert, das nun nach 6 und 8 Monaten eingeheilt war. Bei einer Tibiaschaftfraktur fand das Transplantat ebenfalls keinen Anschluß an das übrige Knochengewebe. Der Patient entzog sich jedoch der weiteren Kontrolle.

Bei den offenen Frakturen führte die Knochentransplantation in zwei Fällen, am Unterschenkel, nicht zum Erfolg. An einer II.-gradig offenen Pilontibialfraktur entstand eine In-

fektion; nach deren Behandlung heilte die Fraktur knöchern aus. Der zweite Fall konnte ebenfalls nicht weiter analysiert werden.

1.2. Frakturen: Ulna/Radius

Bei fünf frischverletzten Patienten wurde eine Transplantation durchgeführt. Man hatte viermal reine Spongiosa am Beckenkamm entnommen, die innerhalb von 4-8 Monaten vollständig eingeheilt war. Bei zwei offenen Frakturen fand das Transplantat in 6 bzw. 8 Monaten festen Anschluß an den übrigen Knochen. In einem Fall führte die Operation nicht zum Erfolg. Es war ein kortiko-spongiöser Span am Olecranon entnommen und verkleinert als Chips an der Frakturstelle eingesetzt worden. In den folgenden Wochen entwickelte sich infolge instabiler Osteosyntheseplatte eine Pseudarthrose, bei der nochmals eine autologe Knochentransplantation mit Dekortikation durchgeführt wurde, die dann nach 6 Monaten ausgeheilt war.

1.3. Frakturen: Humerus

Bei insgesamt drei Patienten erfolgte unmittelbar nach dem Unfall eine Knochentransplantation. Nach 6 Monaten war in zwei Fällen das kortiko-spongiöse Material fest eingeheilt. Bei einem Patienten wurden an eine offene Fraktur spongiöse Chips angelagert. Die strukturelle Einheilung war nach 16 Monaten abgeschlossen.

1.4. Frakturen: Femur

24 Femurfrakturen mußten mit einer autologen Knochentransplantation behandelt werden. Bei zwei Patienten war dies eine Wiederholungsoperation, die nun zum Erfolg führte.

Vorwiegend lagen Trümmerfrakturen sowie drei offene Frakturen vor. Die Frakturen am proximalen (Abb. 3) und am distalen Femur (Abb. 4) zeigten keine unterschiedliche Einheilungszeiten. 18 Transplantate heilten innerhalb von 12 Monaten vollständig ein, im darauffolgenden Jahr waren schließlich insgesamt 87 % der Knochentransplantate strukturell eingeheilt (Tab. 6). Bei den Femurfrakturen wurde das kortiko-spongiöse Material vor allem in Form von Chips an die Frakturstelle eingelagert. Es konnte insbesondere dann eine gute Heilung erzielt werden, wenn das Knochentransplantat als sogenannte "mediale Abstützung" (Abb. 2c) gegenüber der Plattenosteosynthese angebracht wurde.

Bei zwei Patienten führte eine Dekortikation zu keinem guten Ergebnis. Durch den polytraumatisierten Zustand dieser Patienten war der Heilungsverlauf zusätzlich erschwert.

Um neben der eigentlichen Verletzung keine neue Wunde zu schaffen, wurde bei zwei Patienten der Trochanter als Entnahmeort gewählt; das hier entnommene Knochenmaterial heilte innerhalb von 8 bzw. 20 Monaten ein.

Drei Operationen führten nicht zum gewünschten Erfolg. Bei einem Patienten entwickelte sich eine Infektpseudarthrose, die nochmals operiert wurde. In zwei weiteren Fällen entstanden Pseudarthrosen. Nach einer erneuten autologen Knochentransplantation mit Dekortikation erfolgte danach eine Einheilung des Knochengewebes in 6 und 8 Monaten.

1.5. Frakturen: Tibia/Fibula

Bei 33 Patienten wurde am Unterschenkel ein Knochentransplantat eingebracht. Davon waren 13 Tibiakopfimpressionsfrakturen, bei denen die Frakturstelle in 10 Fällen innerhalb 10 Monate vollständig knöchern und strukturell überbrückt war. Bei 13 Frakturen am Schaft und im distalen Bereich, unter denen sich über die Hälfte offene Frakturen befanden, heilte das kortiko-spongiöse Material verzögert ein. Häufig konnte man zwischen dem 8. und 12. Monat eine regelmäßige Durchstrukturierung des Knochenmaterials erkennen (Abb. 5). An 7 Pilontibialfrakturen war die Einheilung fünfmal zwischen dem 5. und 10. Monat abgeschlossen. Das Knochentransplantat heilte demnach in 90 % aller Fälle ein und war ausschließlich in Form von Chips angelagert worden. Die Entnahme erfolgte zumeist am Beckenkamm, selten am Trochanter und Tibiakopf. Das Knochenmaterial der verschiedenen Entnahmeorte zeigte bezüglich der Einheilungszeit und -rate keine Unterschiede.

In drei Fällen, am Tibiakopf, am Schaft und am Pilon tibiale, konnte im ersten Anlauf kein Erfolg erzielt werden. An einer II.-gradig offenen Pilontibialfraktur bildete sich eine Infektion; nach deren Behandlung verheilte die Fraktur knöchern fest. Die beiden übrigen Patienten entzogen sich der Kontrolle.

Vereinzelt wurde die Transplantation nicht unmittelbar nach dem Unfall durchgeführt. Die Einheilungszeiten bei sekundärer Spongiosatransplantation sind im Vergleich zur sofortigen Operation klinisch nicht unterschiedlich.

2. Osteotomien

Die Osteotomie wurde bevorzugt zur Korrektur von Achsen- und Rotations- sowie Varus- und Valgusfehlstellungen angewendet. Eine Interpositionsplastik wurde bei in Verkürzung ausgeheilten Knochendefekten zur Verlängerung eingesetzt (Abb. 6). Der kortiko-spongiöse Block wurde gemäß dem ausgemessenen Knochendefekt geschnitten und zwischen die Osteotomieschnittflächen fest eingepaßt (Abb. 2a). Auf diese Weise konnte das Knochentransplantat rasch Anschluß an das umliegende Knochengewebe gewinnen. Am Oberarm und Oberschenkel wurde immer eine Plattenosteosynthese angelegt. Bei 25 Korrekturosteotomien an der Tibia/Fibula erfolgte eine Knochentransplantation ohne zusätzliche stabile Osteosynthese. Postoperativ wurde in allen Fällen eine frühfunktionelle Bewegungstherapie durchgeführt.

2.1. Osteotomien: Ulna/Radius

Bei 3 Patienten wurde eine Korrekturosteotomie mit zusätzlicher Spongiosanlagerung am Unterarm durchgeführt. In zwei Fällen handelte es sich um Rotations- und Varusfehlstellungen. Das an den Osteotomiebereich angelagerte kortiko-spongiöse Material heilte in 3 und 10 Monaten vollständig ein. Bei einem Patienten wurde der Radius mit einer Interpositionsplastik verlängert. Nach 12 Monaten war das Knochentransplantat strukturiert eingeheilt. Einmal erfolgte die Knochenentnahme am Trochanter; sonst wie üblich am Beckenkamm.

2.2. Osteotomien: Femur

Am Oberschenkel wurde bei 18 Patienten eine autologe Knochentransplantation vorgenommen; in zwei Fällen konnte die Einheilung des Transplantates nicht bis zum Abschluß verfolgt werden. 12 Transplantate heilten in 4 bis 18 Monaten vollständig strukturell ein; 4 Knochentransplantate fanden keinen Anschluß an das umliegende Knochengewebe (Tab. 6).

13 Valgus- und Varusfehlstellungen wurden mit einer Korrekturosteotomie ausgeglichen, hierbei heilte das autologe Knochentransplantat bei 7 suprakondylär durchgeführten Osteotomien in 4 bis 18 Monaten fest ein, bei 2 intertrochantären Osteotomien in 4 und 15 Monaten. Bei einem Patienten entwickelte sich nach einer intertrochantären Korrekturosteotomie eine Pseudarthrose. Zweimal wurde das kortiko-spongiöse Knochengewebe an den subtrochantären Osteotomiebereich angelagert; es war nach 6 Monaten strukturiert eingebaut.

5 in Verkürzung ausgeheilte Femurfrakturen wurden mit einer Interpositionsplastik verlängert. In zwei Fällen war das autologe Knochengewebe nach 4 und 10 Monaten vollständig eingeheilt (Abb. 6). Bei zwei Patienten entstand eine Infektion. Es erfolgte in einem Fall nochmals eine Anlagerung autologen Knochens, der nun nach 8 Monaten knöchern fest einheilte. Bei dem anderen Patienten mußte noch zweimal ein Transplantat angelagert werden, ehe der Osteotomiespalt überbrückt war. Eine nach einer Verlängerungsosteotomie entstandene Pseudarthrose heilte ebenfalls nach einer Operation, bei der sowohl autologes als auch homologes Knochengewebe benutzt wurde.

2.3. Osteotomien: Tibia/Fibula

Bei 48 Korrekturosteotomien wurde am Unterschenkel autologes Knochengewebe angelagert. Davon waren 35 Varusfehlstellungen, eine Rekurvationsfehlstellung und 12 Verlängerungsosteotomien. Drei Fälle konnten nicht bis zum vollständigen Einbau des Transplantats untersucht werden. 44 Transplantate wurden zwischen 4 bis 15 Monaten strukturiert eingebaut, einmal fand das kortiko-spongiöse Material keinen Anschluß an das umliegende Knochengewebe (Tab. 6).

Osteotomie und stabile Osteosynthese

14 Varusfehlstellungen wurden mit einer Korrekturosteotomie korrigiert. Dabei handelte es sich um 5 proximale und 9 distale Aufrichtungsosteotomien. Proximal heilte das kortiko-spongiöse Material zwischen 4 und 6 Monaten (Abb. 7), distal zwischen 4 und 12 Monaten strukturiert ein.

Bei 9 Verlängerungsosteotomien fand das Transplantat am distalen Unterschenkel in 4 bis 12 Monaten guten Anschluß an das umgebende Knochengewebe. Bei einem Patienten entstand an der Osteotomiestelle eine Infektion, die nach Behandlung heilte. Nach weiteren 14 Monaten war das erneut eingelagerte kortiko-spongiöse Material fest in den Knochen eingebaut.

Osteotomie ohne stabile Osteosynthese

Bei 21 Varusfehlstellungen wurden 18 proximale Tibiakopfosteotomien und 3 distale Aufrichtungsosteotomien durchgeführt. Ein Einbau des autologen Knochentransplantats mit Strukturierung konnte zwischen 4 und 15 Monaten festgestellt werden. Dabei wurden auch hier die längeren Einheilungszeiten der Transplantate im distalen Unterschenkelbereich beobachtet. An der distalen Fibula wurde bei 3 Verlängerungsosteotomien koritko-spongiöses Knochenmaterial eingesetzt, das nach 4 und 10 Monaten vollständig eingebaut war.

Benötigte man nur geringe Mengen an Knochengewebe, so wurde

das spongiöse oder kortiko-spongiöse Material am Tibiakopf entnommen. In diesen drei Fällen heilte das Transplantat innerhalb von 4 Monaten strukturiert ein.

3. Pseudarthrosen

116 Pseudarthrosen wurden im Untersuchungszeitraum mit einer Knochentransplantation behandelt. Um eine ausreichende Festigkeit im Transplantationsgebiet zu gewährleisten und um eine funktionelle Therapie zu ermöglichen, erfolgte zusätzlich eine stabile Osteosynthese. Nur bei der Claviculapseudarthrose wurde postoperativ ein ruhigstellender Desault-Verband angelegt.

Die Pseudarthrosen wurden hinsichtlich ihrer zeitlichen Entwicklung in vier Gruppen eingeteilt: bis 6 Monate (siehe 1.2.), zwischen 6-12 Monate, zwischen 12-24 Monate und älter als 24 Monate. Bei allen 4 Gruppen war die Einheilungszeit der Knochentransplantate gleich.

3.1. Pseudarthrosen: Clavicula

Bei 6 Claviculapseudarthrosen wurde vorwiegend spongiöses Knochenmaterial an den Pseudarthrosenspalt angelagert. In 2 Fällen handelte es sich bereits um eine Wiederholungsoperation. Die Knochenentnahme erfolgte dreimal am Trochanter, dreimal am Beckenkamm. Bei 5 Pateinten heilte die Spongiosa zwischen dem 3. und 12. Monat strukturell voll ein. Bei einem Patienten führte die Operation nicht zum Erfolg. In diesem Fall war schon eine Transplantation mit einem homologen Span vorausgegangen. Jetzt wurde nochmals eine autologe Knochentransplantation durchgeführt, die aber vermutlich wegen absichtlicher Refraktur nicht zur Einheilung kam (Abb. 8).

3.2. Pseudarthrosen: Ulna/Radius

Am Unterarm wurde bei 22 Pseudarthrosen eine autologe Knochentransplantation vorgenommen. Stets erfolgte eine solide Stabilisierung mit Platten. Es handelte sich in drei Fällen um hyperthrophe Pseudarthrosen, bei denen das transplantierte Knochengewebe rasch Anschluß an den übrigen Knochen fand.

Eine zusätzlich durchgeführte Dekortikation (Abb. 2d) hatte bei der Hälfte der Pseudarthrosen guten Erfolg. Der Pseudarthrosenspalt wurde in der Zeit von 3 bis 6 Monaten überbrückt. Der Aufbau des Knochens zeigte an dieser Stelle eine regelmäßige Knochenbälckchenstruktur.

Nur bei atrophen Pseudarthrosen wurde das interponierte Bindegewebe und Granulationsgewebe entfernt, die Pseudarthrose mit dem Meißel angefrischt und das vorwiegend spongiöse Transplantat zwischen und seitlich der Pseudarthrose angelagert (Abb. 2b). Innerhalb 3 bis 8 Monaten waren diese Pseudarthrosen ausgeheilt (Tab. 6).

In zwei Fällen wurde das kortiko-spongiöse Material an der Ulna bzw. am Processus styloidius radii entnommen. Das entnommene Knochengewebe der Ulna heilte nicht ein. Erst nach erneuter Transplantation mit Knochengewebe vom Beckenkamm konnte die Behandlung nach 8 Monaten erfolgreich abgeschlossen werden.

Bei einem weiteren Patienten kam es erst nach einer zweiten Operation zur knöchernen Verwachsung der Pseudarthrosenenden.

3.3. Pseudarthrosen: Humerus

Von den 12 am Humerus durchgeführten Knochentransplantationen war es für drei Patienten schon eine Wiederholungsoperation. Diese Operationen führten nun nach 5, 8 und 12 Monaten zum Erfolg. Bei allen Fällen dauerte die strukturelle Einheilung wenigstens 5 Monate. Nach 8 Monaten waren 67 % der Transplantate am Oberarm knöchern eingeheilt, nach 20 Monaten 92 % (Tab. 6). Das Knochengewebe wurde vor allem in Form von Chips am Pseudarthrosenspalt angelagert. Zwei Knochenentnahmen erfolgten am Trochanter, die restlichen Transplantate stammen vom Beckenkamm.

3.4. Pseudarthrosen: Femur

Von 39 Operationen an Femurpseudarthrosen waren 17 Wiederholungsoperationen; 3 Fälle konnten nicht bis zur endgültigen Einheilung des Knochengewebes in die Untersuchung einbezogen werden. Das autologe Knochentransplantat heilte bei 29 Pseudarthrosen zwischen 4 und 15 Monaten strukturiert ein (Tab. 6). Bei 16 Operationen wurde zusätzlich eine Dekortikation durchgeführt. Auch hier ergaben sich Einheilungszeiten zwischen 4 und 15 Monaten. Eine Einheilung nach 4 Monaten konnte bei subtrochantären und distalen Pseudarthrosen mit Dekortikation erreicht werden, wenn der Defekt im Röntgenbild etwa die Größe 3 x 3 cm nicht überschritt.

Bei fünf Patienten wurde außer der Pseudarthrosenbehandlung noch eine Korrekturosteotomie durchgeführt. In diesen Fällen heilte das eingelagerte Knochentransplantat in 10 Monaten strukturiert ein.

Bei 7 Patienten fand das Transplantat keinen Anschluß an das übrige Knochengewebe; viermal kam es nach erneuter Knochentransplantation mit Dekortikation in 4, 6 und 12 Monaten zu einer vollständigen Einheilung des Transplantats

(Abb. 10). Bei einer Patientin entstand eine Infektpseudarthrose, die nach Sanierung und erneuter Anlagerung von kortiko-spongiösem Knochengewebe innerhalb der nächsten 6 Monate ausheilte. An einer Oberschenkelpseudarthrose mußten noch drei weitere Transplantationen durchgeführt werden, wobei bei der letzten Transplantation zusätzlich homologe Spongiosa angelagert wurde. Aus der letzten röntgenologischen Kontrolle waren nur geringe Einheilungstendenzen der Spongiosa ersichtlich. Bei einer weiteren Pseudarthrose erfolgte bis jetzt noch keine Wiederholungsoperation.

Bei zwei Drittel der nicht sofort eingebauten Transplantate befand sich der Pseudarthrosenspalt im diaphysären Bereich des Femurs. Es handelte sich hierbei um ausgedehnte Defektpseudarthrosen, die nicht älter als 6 Monate waren.

3.5. Pseudarthrosen: Tibia/Fibula

Am Unterschenkel wurde bei 37 Patienten an die Pseudarthrose autologes Knochengewebe angelagert; ein Fall konnte nicht bis zum Abschluß verfolgt werden. Bei 35 Patienten wurde das kortiko-spongiöse Transplantat in 3 bis 15 Monaten fest eingebaut. Nur bei einem Patienten, bei dem schon eine vorausgegangene Knochentransplantation nicht zum Erfolg führte, wurde das kortiko-spongiöse Material wiederum resorbiert.

Neben der Pseudarthrosenbehandlung wurde bei vier Patienten eine Fehlstellung der Tibia durch Osteotomie korrigiert. Das knöcherne Transplantat heilte in diesen Fällen in 4, 12 und 15 Monaten strukturiert ein.

Zwischen den Pseudarthrosen im proximalen und distalen Bereich bestanden in der Einheilungszeit keine wesentlichen Unterschiede.

In 17 Fällen, bei denen das Alter der "Pseudarthrose" unter 6 Monaten lag, muß von verzögerter Heilung gesprochen wer-

den. Bei diesen Knochentransplantationen wurde das autologe Knochengewebe in 6 bis 15 Monaten strukturell vollständig eingebaut.

Fünfmal wurde das kortiko-spongiöse Material nicht nur am Beckenkamm, sondern noch zusätzlich an der Tibia entnommen. Bei diesen Patienten waren die Transplantate nicht vor 10 Monaten fest eingebaut. Allerdings handelte es sich hier um große Knochendefekte. Bei zwei Patienten war ein polytraumatisierter Zustand vorausgegangen.

3.6. Pseudarthrosen: Os naviculare

In dem untersuchten Zeitraum wurden 119 Matti-Russe-Plastiken am Os naviculare eingesetzt. 21 Patienten konnten nicht röntgenologisch nachuntersucht werden. Bei sechs Patienten wurde zusätzlich ein Kirschner-Draht angelegt. Es konnte dadurch kein günstigeres Ergebnis erzielt werden. Postoperativ wurde bei allen Patienten für die Dauer von drei Monaten ein Oberarmgips unter Einschluß des Daumengrundgelenkes angelegt, der nach regelmäßigen Röntgenkontrollen erneuert wurde.

21 Pseudarthrosen befanden sich im proximalen, 72 im mittleren und 5 im distalen Bereich des Os naviculare (Tab. 5). Insgesamt wurde der kortiko-spongiöse Block bei 87 Pseudarthrosen zwischen 3 bis 15 Monaten knöchern fest eingebaut (Tab. 6). Davon waren bereits 65 Pseudarthrosen nach 5 Monaten ausgeheilt (Tab. 6).

Bei drei Patienten, bei denen bereits eine Matti-Russe-Plastik eingelegt war, führte die Wiederholungsoperation in zwei Fällen wiederum nicht zum gewünschten Erfolg. Das autologe Knochentransplantat heilte bei 11 Patienten nicht ein. In diesen Fällen befand sich der Pseudarthrosenspalt zweimal im proximalen, fünfmal im mittleren und zweimal im distalen Drittel des Os naviculare (Tab. 5).

Tab. 5: Lage des Pseudarthrosenspaltes bei den 98 untersuchten Pseudarthrosen am Os naviculare. Anzahl und Lage der Transplantate, bei denen keine Heilung erzielt werden konnte.

Lage des Pseudarthrosenspaltes am Os naviculare	Anzahl der Pseudarthrosen	Ausbleibende Heilung (Anzahl)
distales Drittel	5	2
mittleres Drittel	72	7
proximales Drittel	21	2

Nach ausbleibender Heilung wurde bei einem Patienten das Handgelenk versteift; die übrigen Mißerfolge wurden bis zum Zeitpunkt des Abschlusses dieser Arbeit nicht weiterbehandelt.

Eine Abhängigkeit vom Alter der Pseudarthrosen hinsichtlich der Geschwindigkeit der knöchernen Einheilung war nicht festzustellen.

Patienten, die jünger als 20 Jahre waren, hatten meistens eine kürzere Einheilungszeit als ältere Patienten.

4. Zysten und Nekrosen

Als Indikationen gelten die tumorähnlichen Veränderungen ungekannten Ursprungs wie die juvenilen und aneurysmatischen Knochenzysten und Veränderungen wie die Femurkopfnekrosen. Die Zystenhöhle wurde bei 28 Patienten mit autologem Knochenmaterial aufgefüllt.

Das Knochengewebe wurde hauptsächlich am Beckenkamm (18), außerdem am Trochanter (2), am Tibiakopf (2) und als Rippentransplantate (6) entnommen. Die Transplantate der verschiedenen Entnahmeorte zeigten keine unterschiedlichen Einheilungsergebnisse.

Juvenile Knochenzysten

Nach Zystenresektion am Oberarm und Unterschenkel wurden in den entstandenen Defekt in 5 Fällen kortiko-spongiöses Material eingelagert. Das autologe Knochengewebe heilte in 6 bis 12 Monaten fest ein (Abb. 11, Abb. 13). Bei einem Patienten konnte das Knochentransplantat nicht bis zur endgültigen Einheilung röntgenologisch verfolgt werden.

Bei 5 Patienten wurde die Zystenhöhle mit kortiko-spongiösen Chips in Kombination mit einem Rippentransplantat aufgefüllt. Die Einheilungszeiten dieser Transplantate betrugen 8 bis 20 Monate. Von diesen waren zwei Fälle, eine Zyste am distalen Radius und die andere an der Tibia, Wiederholungsoperationen. Ihnen war eine homologe Knochentransplantation kombiniert mit einem Rippentransplantat vorausgegangen. Jetzt heilte das Transplantat nach 10 und 20 Monaten strukturiert ein. Zwei Patienten wurde, bei dem einen am Oberarm (Abb. 12), bei dem anderen am Oberschenkel, zusätzlich eine Plattenosteosynthese angelegt. Eine strukturelle Einheilung des Knochentransplantates erfolgte in 12 Monaten.

Osteoklastom

Ebenfalls ein Rippentransplantat wurde bei einem Patienten mit einem Osteoklastom II. Grades nach dessen Resektion am distalen Radius eingesetzt. Seitlich der Rippe wurden noch kortiko-spongiöse Späne angelagert. 8 Monate postoperativ konnte eine Einheilung des Transplantates festgestellt werden.

Aneurysmatische Knochenzysten

In die Untersuchung konnten 6 aneurysmatische Knochenzysten einbezogen werden, von denen zwei Fälle klinisch nicht bis zum Abschluß der Heilung verfolgt werden konnten. Nach Zystenresektion heilte das Transplantat einmal an der Tibia und einmal am Femur in 10 und 18 Monaten vollständig ein.

Am Femur war außerdem eine stabile Plattenosteosynthese angelegt worden. Zwei Operationen am proximalen Humerus führten nicht zu einem Heilungserfolg, und es entwickelten sich trotz wiederholter Transplantationen Rezidive.

Femurkopfnekrosen

Bei 12 Patienten wurde das nekrotische Gewebe am Femurkopf vollständig entfernt und der Defekt mit autologem Knochengewebe dicht aufgefüllt. Zwei Patienten entzogen sich der röntgenologischen Kontrolle. Ein unregelmäßiger und nur zum Teil strukturierter Einbau der transplantierten Spongiosa wurde zwischen dem 8. und 20. Monat erkannt. Zumeist wurde die Spongiosaunterfütterung mit einer intertrochantären Osteotomie kombiniert.

Bei einem Patienten wurde das autologe Transplantat vollständig resorbiert, und die Nekrose schritt rasch fort.

5. Einheilungszeiten bei allen Indikationen, primär ausbleibende Heilungen und Komplikationen

Am Oberschenkel und Unterschenkel dauerte der vollständige Einbau des autologen Transplantates mit strukturell angepaßter Überbrückung der Pseudarthrosen, Frakturen und Osteotomien gleich lang und war zumeist nach dem 3. bis 8. (12.) Monat abgeschlossen (Tab. 6, Tab. 8). Diese Transplantate hatten nach 10-12 Wochen Anschluß an das umgebende Knochengewebe gefunden; die Strukturierung des Knochens erfolgte in den folgenden Monaten. Spätere Einheilungsergebnisse lassen sich mit der Größe des Defektes und der oft damit einhergehenden erhöhten mechanischen Belastung in Zusammenhang bringen. Bei den Pseudarthrosen am Unterarm und dem Os naviculare waren viele Knochentransplantate bereits 3 Monate postoperativ vollständig eingebaut (Tab. 6). Einheilungs-

ergebnisse bei den Zysten können nach den untersuchten Fällen im Gegensatz zu den anderen Indikationen erst nach 6 Monaten erwartet werden (Tab. 6). Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Bewertung der röntgenologischen Befunde und der damit zusammenhängenden Beurteilung des Einheilungsprozesses gerade bei den Zysten besonders schwierig ist.

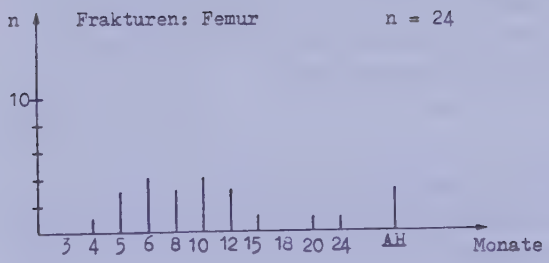
Die Heilungsquote der einzelnen Indikationen unabhängig ihrer anatomischen Orte betrug 89 % (Tab. 7). Insgesamt war bei 11 % aller untersuchten Fälle die primäre Einheilung des autologen Knochentransplantats ausgeblieben (Tab. 9). Bei 16 Patienten konnte nach einer erneuten Transplantation mit autologem Gewebe eine Heilung erzielt werden (Tab. 9).

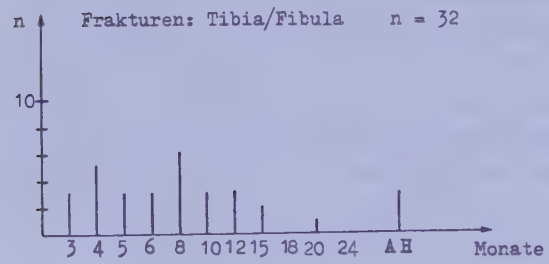
Am Femur kam es bei allen Indikationen infolge fehlender Stabilität, vermehrt auftretenden Infektionen oder wie bei den Pseudarthrosen infolge einem schlechten Lager zu einer erhöhten Mißerfolgsquote (Tab. 6).

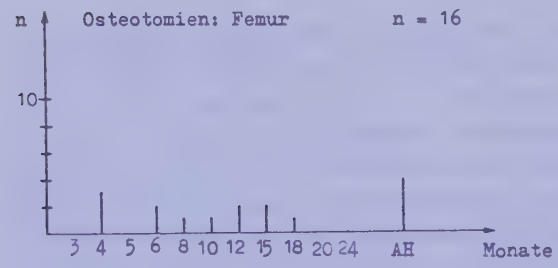
Komplikationen

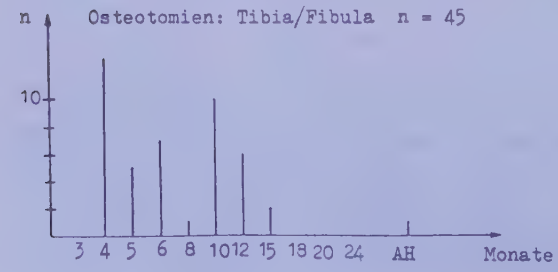
Am häufigsten tritt als Komplikation an der Entnahme- und Anlagerungsstelle des autologen Knochens ein Hämatom auf. In allen aufgetretenen Fällen heilte das Hämatom nach Ausräumung in kurzer Zeit ab. Größere Schwierigkeiten bereiteten die Infektionen, die bei offenen Frakturen, polytraumatisierten Patienten und ausgedehnten Knochendefekten auftraten. Selten traten andere Komplikationen auf (Ischiadicusläsion, Tab. 10).

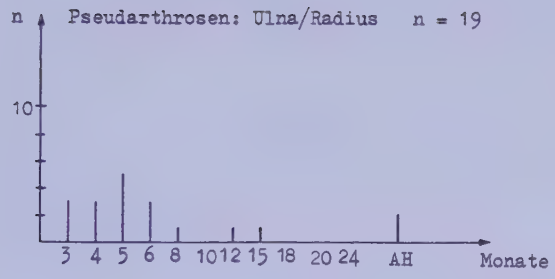
Tab. 6: Einheilungszeiten des autologen Knochengewebes bei den verschiedenen Indikationen und anatomischen Orten nach röntgenologischen Befunden.
Abszisse: Einheilungszeit (Monate)
Ordinate: Anzahl der Heilungserfolge
n = Anzahl der Patienten
AH: Primär ausbleibende Heilung (Anzahl)

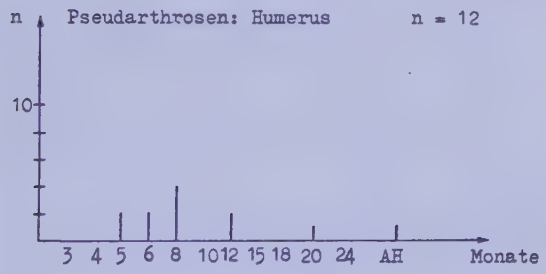

n
Frakturen: Femur
n = 24
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate

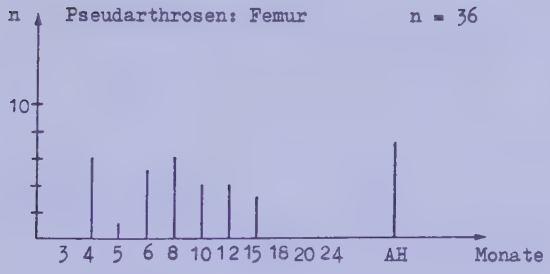

n
Frakturen: Tibia/Fibula
n = 32
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate

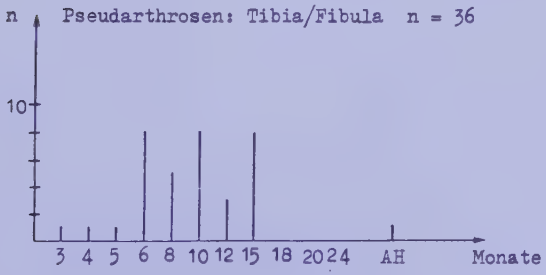

n
Osteotomien: Femur
n = 16
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate

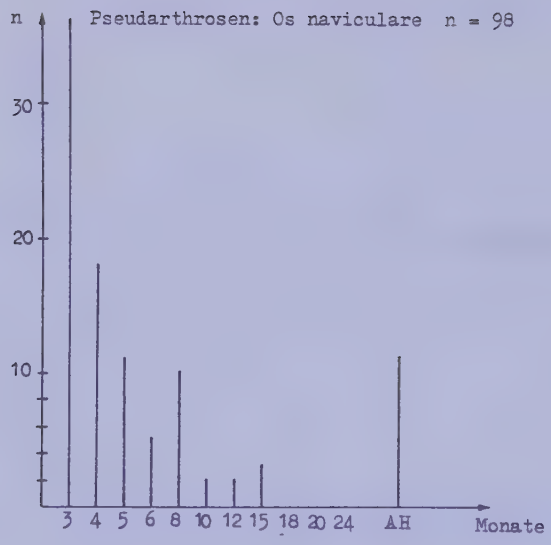

n
Osteotomien: Tibia/Fibula
n = 45
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate

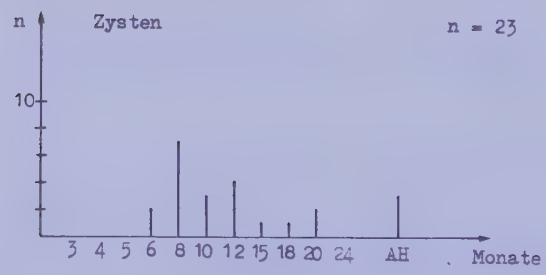

n
Pseudarthrosen: Ulna/Radius n = 19
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate


n
Pseudarthrosen: Humerus n = 12
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate


n
Pseudarthrosen: Femur n = 36
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate


n
Pseudarthrosen: Tibia/Fibula n = 36
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate


n
Pseudarthrosen: Os naviculare n = 98
30
20
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate


n
Zysten
n = 23
10
3 4 5 6 8 10 12 15 18 20 24 AH
Monate

Tab. 7: Heilungsquote bei den verschiedenen Indikationen. Aufgeführt sind nur die Fälle, die bis zur vollständigen strukturellen Einheilung des Transplantates klinisch verfolgt werden konnten.

	Summe	Heilung	Heilungsquote in Prozent
Pseudarthrosen	107	95	90 %
Pseudarthrosen Os naviculare	98	87	89 %
Frakturen	64	57	89 %
Osteotomien	65	60	92 %
Zysten	23	20	87 %

Tab. 8: Aufteilung der Einheilungszeiten in zeitliche Abschnitte. In Klammer steht die Anzahl der Pseudarthrosen des Os naviculare. Aufgeführt sind nur die Fälle, die bis zur vollständigen strukturellen Einheilung des Transplantates klinisch verfolgt werden konnten.

Einheilungszeit in Monaten	Anzahl der Fälle n	in Prozent
3 - 5	128 (65)	36 %
6 - 10	116 (17)	32 %
12 - 15	64 (5)	18 %
18 - 24	11 (-)	3 %

Tab. 9: Anzahl der Fälle mit primär ausbleibender Heilung; erfolgreiche Wiederholungsoperationen nach erneuter Anlagerung von autologem Knochengewebe; in Klammer steht die Anzahl der Pseudarthrosen des Os naviculare.

	Anzahl der Fälle n	in Prozent
primär ausbleibende Heilung	38 (11)	11 %
erfolgreiche Wiederholungsoperation	16 (1)	5 %

Tab. 10: Komplikationen am Entnahme- und Empfängerort des Knochentransplantats.

Indikation	Entnahmeort	Empfängerort	
Frakturen	Hämatom 1 x	Hämatom	6 x
		Infektion (temporär)	6 x
Pseudarthrosen	Hämatom 5 x	Hämatom	8 x
		Infektion (temporär)	3 x
		Ischiadicus-läsion	1 x
Pseudarthrosen Os naviculare	Hämatom 5 x	-	
Osteotomien	Hämatom 1 x	Hämatom	10 x
		Infektion (temporär)	3 x
Zysten	-	-	

Abb. 3: 34-jährige Patientin, per- und subtrochantäre Femurtrümmerfraktur li.; a) autologe Spongiosatransplantation, Anlagerung medial und dorsal der Trümmerzone; b) zunehmende mediale Abstützung; c) guter knöcherner Durchbau; d) vollständige knöcherne Einheilung der Spongiosa.

Abb. 4: 17-jähriger Patient, Femurtrümmerfraktur re., primäre Spongiosaplastik, Spongiosachips dorsal, ventral und medial angelagert; a) beginnende knöcherne Überbrückung; b) zunehmender Einbau; c) strukturelle Einheilung als dorso-mediale Knochenbrücke.

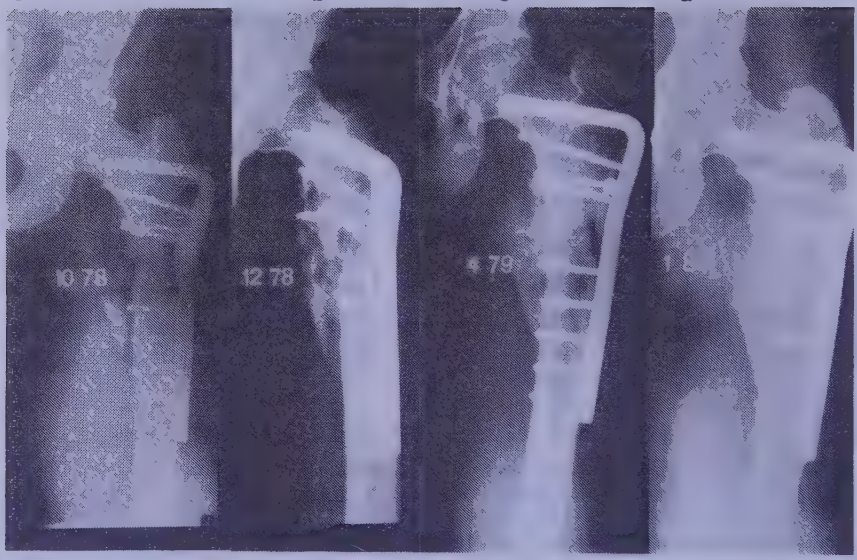
Abb. 5: 17-jähriger Patient, Tibiafraktur re. (Etagenbruch II. gradig offen); a) Reposition und Osteosynthese; b) Anlagerung von kortiko-spongiösen Chips; c) beginnende Einheilung der Spongiosa; d) vollständiger Einbau der Spongiosa.

Abb. 6: 21-jährige Patientin, Femurverkürzung re.; a) Verlängerungsosteotomie um 5 cm; b) komplette Auffüllung des Femurdefektes mit kortiko-spongiösen Spänen; c) gute Konsolidierung der eingebrachten Spongiosa; d) strukturierte, stabile Überbrückung des ehemaligen Defektes.

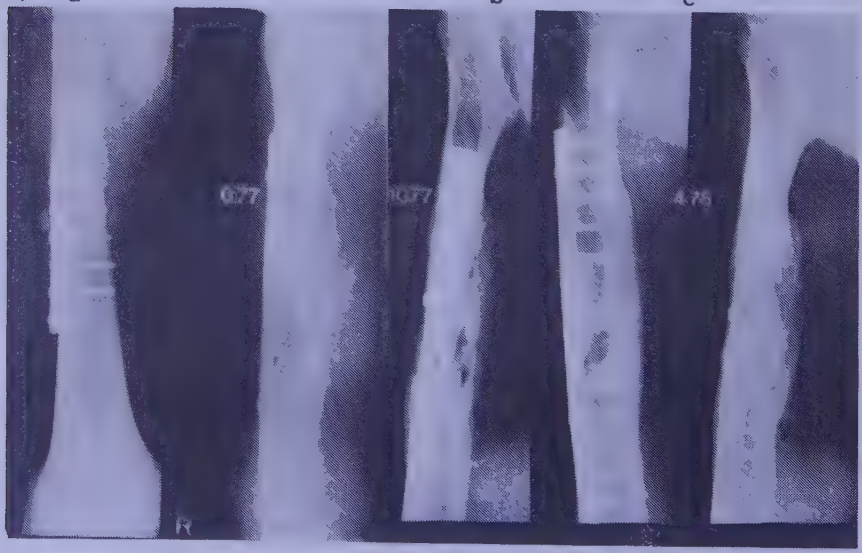
Abb. 7: 65-jähriger Patient, beginnende Varusgonarthrose re.; a) Aufrichtungsosteotomie am Tibiakopf mit homologem Knochengewebe; b) Resorption des Transplantats; c) Erneute Varusstellung; d) Wiederholungsoperation mit autologem Knochengewebe und Abstützplatte; e) zunehmender knöcherner Einbau der Spongiosa; f) vollständiger Einbau der Spongiosa.

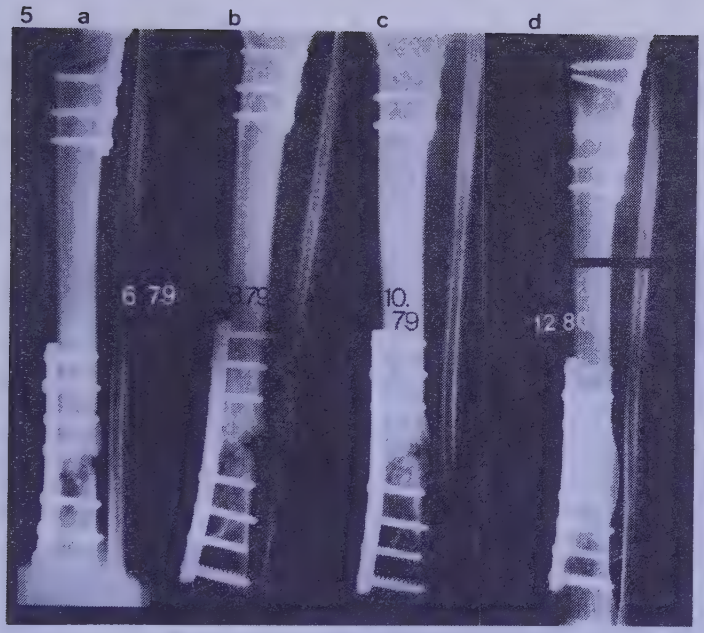
Abb. 8: 25-jähriger Patient; a) Claviculapseudarthrose re.; b) beginnender knöcherner Einbau nach primärer Spongiosaanlagerung im Pseudarthrosenbereich; c) zunehmender Einbau nach sekundärer Spongiosatransplantation; d) und e) vollständiger Einbau mit stabiler Überbrückung; f) Claviculapseudarthrose nach vermutlich absichtlich herbeigeführter Refraktur.

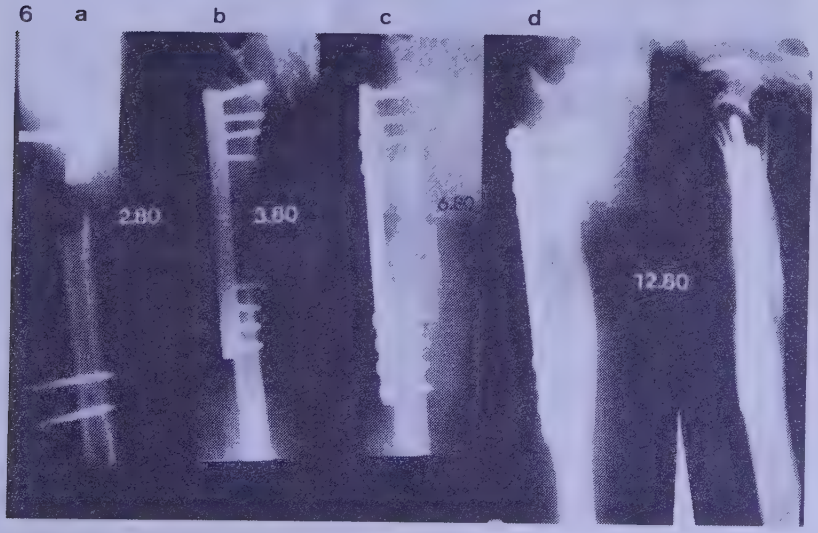
3 a b c d



4 a b c




5
a
b
c
d
6 79
10.
79
12 80


6
a
b
c
d
2.80
3.80
6.80
12.80

7
a
b
c
12 78
2 79
8 79
9 79
1 79
3 81
d
e
f

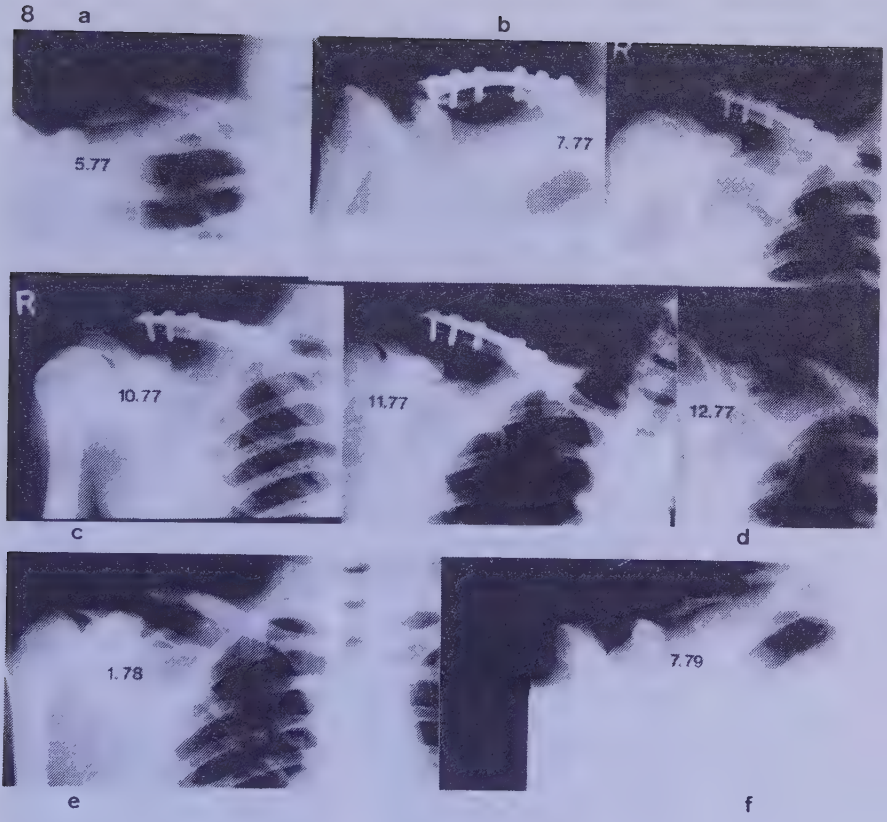

8
a
5.77
b
7.77
R
R
10.77
11.77
12.77
c
d
1.78
7.79
e
f

Abb. 9: 32-jähriger Patient, verzögert heilende Oberarmfraktur li.; a) operativ versorgte Fraktur; b) und c) Dekortikation und Anlagerung von kortikospongiösem Material an der Innen- und Außenseite der Pseudarthrose; d) zunehmender Einbau der Spongiosa; e) vollständige Einheilung des autologen Knochengewebes.

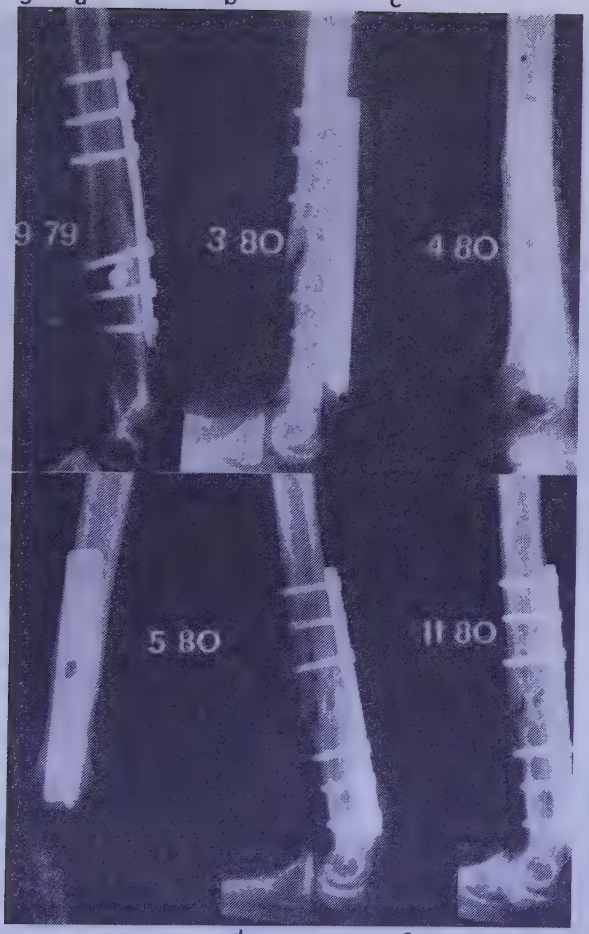
Abb. 10: 48-jähriger Patient, Femurpseudarthrose re. nach suprakondylärer Trümmerfraktur; a) autologe Knochentransplantation, Einlagerung kortiko-spongiöser Späne im Pseudarthrosendefekt und medial am Schaft; b) geringe Einheilungstendenz des Transplantats; c) Wiederholungsoperation, Dekortikation und Anlagerung von kortiko-spongiösem Material breitflächig über der Medial- und Dorsalseite; d) Spongiosa weitgehend eingebaut, noch keine Durchstrukturierung des Knochens.

Abb. 11: 14-jährige Patientin, Rezidiv einer juvenilen Knochenzyste am proximalen Oberarm re.; a) Wiederholungsoperation mit autologer Spongiosa, Zystenhöhle mit spongiösem Knochengewebe austamponiert; b) guter Einbau der Spongiosa; c) Zyste noch angedeutet sichtbar; d) Spongiosa vollständig eingebaut.

Abb. 12: 15-jähriger Patient; a) Rezidiv einer juvenilen Knochenzyste mit Refraktur am Humerus re.; b) Einsetzen eines Rippentransplantats und Auffüllung der Resthöhle mit kortiko-spongiösen Spänen; c) beginnender knöcherner Einbau des Transplantats; d) guter Einbau des Rippentransplantats; e) und f) vollständiger Einbau mit weitgehend regelrechter Knochenkontur.

Abb. 13: 10-jährige Patientin, juvenile Knochenzyste an der distalen Tibia re.; a) Zyste vor der Operation; b) autologe Knochentransplantation, Auffüllung der Zystenhöhle mit kortiko-spongiösen Spänen und reiner Spongiosa; c) Einbau der Spongiosa; d) Zystenhohlraum vollständig knöchern überbrückt.

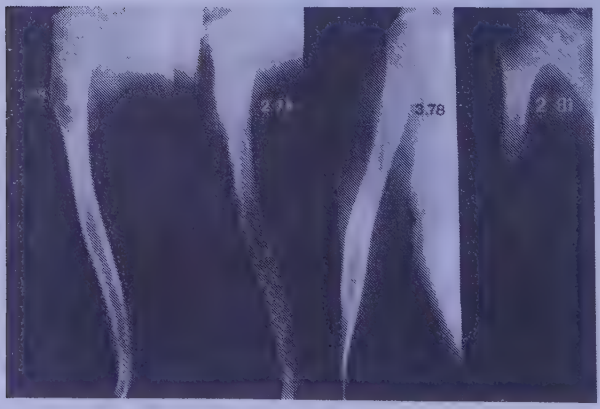
9 a b c



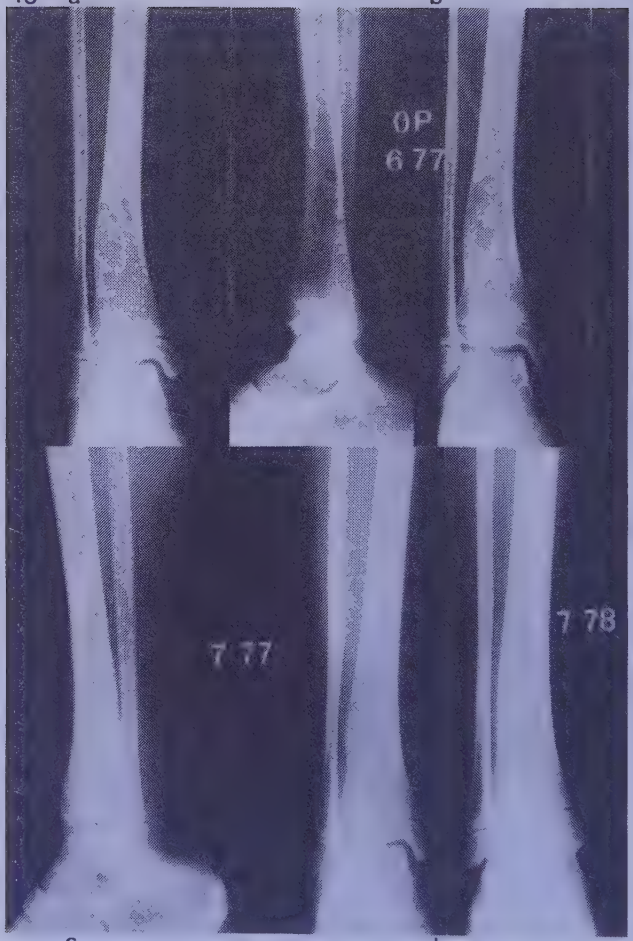
d e

10 a b c d

11 a b c d



12
a
b
c
8.79
9.79
12.79
3.80
6.80
12.80
R
d
e
f


13
a
b
OP
677
777
778
c
d

VI. DISKUSSION

Entnahmeort und Wertigkeit des autologen Knochengewebes

Bei den 397 durchgeführten autologen Knochentransplantationen stammte das Knochengewebe in 357 Fällen aus dem Beckenkamm. Hier läßt sich reichlich spongiöses und kortiko-spongiöses Material entnehmen, sodaß auch für größere Defekte genügend Knochenersatzgewebe zur Verfügung steht. Der problemlose Zugang und die gute Heilung nach Knochenentnahme bewirken eine niedrige Komplikationsrate (Tab. 10). Benötigte man nur geringe Mengen an Spongiosa, bieten sich als weitere Entnahmestellen der Trochanter, der Tibiakopf und Ulna/Radius an. Bei den Knochenzysten kamen außerdem noch Rippentransplantate zur Anwendung. Hinsichtlich der Entnahmeorte konnten keine qualitativen Unterschiede des autologen Knochentransplantates festgestellt werden.

Unter den hier überprüften klinischen Bedingungen wurde kein nennenswerter Unterschied in der Einheilung rein spongiöser und kortiko-spongiöser Transplantate gefunden. Obgleich aus experimentellen Untersuchungen bekannt ist, daß die Revaskularisierung der Spongiosa etwa 10 mal rascher vorsichgeht als bei kompakter (Schweiberer 1976).

Die kortiko-spongiösen Transplantate wurden mit dem V-Meisel entnommen, nur ausnahmsweise gewaltsam komprimiert, und ins Transplantatlager eingeführt. Für die frühe Vaskularisierung des Transplantates scheint nach Albrektsson und Linder (1981) eine minimale Traumatisierung wichtig zu sein.

Eine Kompression von Spongiosa mit dem Ziel, mehr osteoinduktives Material zu übertragen (Wolter et al. 1974, 1975) birgt unter Umständen den Nachteil einer verlangsamten Revaskularisation aufgrund der Schädigung des Transplantates. Die in dieser Arbeit beurteilten Transplantate wurden frisch und ohne weiteres Zwischenmilieu überpflanzt.

Indikationen

Pseudarthrosen

Am häufigsten wurde bei den Pseudarthrosen von der autologen Knochentransplantation Gebrauch gemacht. Mit einer exakten Druckosteosynthese kann bei der hypertrophen Pseudarthrose die knöcherne Heilung erzielt werden, da die Knochenenden gut durchblutet sind (Willenegger et al. 1969, Schweiberer 1970, 1976, Weber et al. 1978, Zichner und Heipertz 1979). Deshalb wurde die autologe Knochentransplantation in diesen Indikationsbereichen selten angewandt. Eine gute Indikation für eine zusätzliche Spongiosaplastik (Rehn 1976) oder einer Spanverpflanzung (Witt und Jäger 1966, 1976) ergibt sich bei verzögerten Heilungen mit devitalisierten Fragmenten und bei atrophen und den Defektpseudarthrosen, also bei ersatzschwachem Transplantatlager. Über die Hälfte der Fälle kamen innerhalb von 8 Monaten zur knöchernen Ausheilung, nach 15 Monaten etwa 90 % (Tab. 6). Hierbei bestand das Transplantat aus Spongiosa oder kortikospongiösem Material, das in Form von Chips eingebracht wurde. Eine zusätzliche Verbesserung des Einheilungsergebnisses konnte durch die Dekortikation erzielt werden. Durch die "zwiebelschalenartige" Abmeiselung von kortiko-spongiösen Chips erreicht man eine Verbesserung der örtlichen Zirkulation, die für die erforderliche Ernährung des Transplantats von Bedeutung ist (u.a. Willenegger et al. 1969, Kuner et al. 1972, Rehn 1976, Schweiberer 1976).

Bei den Pseudarthrosen am Oberschenkel war die hier überprüfte Knochentransplantation in 17 Fällen bereits ein Zweiteingriff. Auch danach lag die Mißerfolgsrate erheblich höher als bei den anderen anatomischen Orten (Tab. 6). Es handelte sich fast ausschließlich um Fälle, bei denen ausgedehnte Oberschenkeltrümmerfrakturen am Schaft zu einer Defektpseudarthrose führte. Infolge der Fragmentdevitalisierung liegen für das Knochentransplantat schlechtere Bedingungen für eine rasche Revaskularisation vor. Deshalb

kommt es zu einer langsameren Einheilung des Transplantates. Zusätzlich werden bei Defektfrakturen und Defektpseudarthrosen öfters mechanische Instabilität beobachtet (Rehn 1976, Mayer 1977, Weber et al. 1978).

An den oberen Extremitäten heilte das knöcherne Transplantat in den meisten Fällen innerhalb von 3 bis 8 Monaten strukturiert ein. Neben einem guten Transplantatlager sind am Ober- und Unterarm stabile Plattenosteosynthesen erfolgreicher zu bewerkstelligen als an Femur und Tibia. Ähnliche Erfolge wurden für Vorderarmschaftpseudarthrosen nach Stabilisierung und Auffüllung des Defektes mit autologer Spongiosa von Otto (1977) mitgeteilt.

Pseudarthrosen am Os naviculare

Die Behandlung der Pseudarthrosen am Os naviculare wurde mit der Matti-Russe-Plastik und anschließender Ruhigstellung des Arms und der Hand durchgeführt. Das autologe Transplantat heilte in 89 % der Fälle fest ein und überbrückte den Pseudarthrosenspalt. Buck-Gramcko (1966) und Meine et al. (1974) stellten in 67-93 % der Fälle Ausheilung der Pseudarthrose fest. Die Werte streuen infolge verschiedener Operationsmethoden, verschiedener Lokalisation der Pseudarthrosen und verschiedener Herkunft des implantierten Transplantates. Russe (1960) berichtete von Heilungsergebnissen von 91 %, Brückle (1975) von 88 % und Haus (1977) von 62 %.

Nach Schweiberer (1970) war der Pseudarthrosenspalt bei seinen Untersuchungen nach 5 1/2 Monaten knöchern durchbaut. Bei den hier untersuchten Fällen konnten nach 5 Monaten 65 % der Pseudarthrosen als geheilt angesehen werden (Tab. 6). Ein stabilisierender Kirschner-Draht brachte keine Verbesserung des Einheilungsergebnisses; die Fallanzahl war jedoch gering. Während Willenegger et al. (1969) eine Stabilisierung mit Bohrdrähten oder eine zusätzliche Verschraubung ablehnen, beobachtete Wipfli (1966) einen besseren Heilungserfolg mit stabilisierenden Drähten.

Aufgrund der relativ schlechten Gefäßversorgung bietet das Transplantationslager im Os naviculare keine guten Voraussetzungen für eine Transplantation. In erster Linie erfolgt die intraossäre Gefäßversorgung über Gefäße, die an der dorsalen Kante des Os naviculare eintreten (Fasol et al. 1978). Deswegen ist es äußerst wichtig, das nekrotische Gewebe im Pseudarthrosenbereich zu entfernen, um dem Transplantat durch eröffnete Gefäße eine bessere Einheilung zu ermöglichen. Die Heilungserfolge könnten jedoch auch auf die gute osteoinduktive Qualität des spongiösen Transplantats zurückzuführen sein. Pseudarthrosen mit kleinen proximalen Fragmenten haben wegen des mangelhaften Gefäßanschlusses keine guten Heilungsaussichten. Das proximale Drittel des Os naviculare verfügt über keine eigenen Gefäßeintritte (Fasol et al. 1978). Mehrere Autoren (Fleischer 1965, Voorhoeve 1970, Haus 1977) stellten bei Pseudarthrosen, die im proximalen Drittel lagen, niedrige Ausheilungsquoten fest.

Frakturen

Trümmer- und Mehrfragmentfrakturen sowie Impressions- und Depressionsfrakturen benötigen zur Heilung mitunter eine Knochentransplantation. Nach Schweiberer (1976) kann nach offenen Frakturen nur die autologe Spongiosa bei Kontinuitätsdefekten in Frage kommen. Trotz der besten Wahl des Transplantats ist die Einheilungszeit gegenüber den geschlossenen Frakturen bei den untersuchten Fällen verlangsamt und die Mißerfolgsrate erhöht (Tab. 3). Dies ist wohl nicht als Mißerfolg oder ein Versagen der Spongiosaplastik zu werten. Vermutlich hängt dies mit der Größe des Weichteildefektes, dem Ausmaß der Knochenzerstörung und gelegentlich auftretenden Infektionen zusammen. Ungünstige Voraussetzungen sind durch den primären Gefäßschaden an Knochen und Weichteilen gegeben (Schweiberer 1976).

Ein großer Anteil der mit autologem Knochengewebe behandelten geschlossenen Frakturen wurde innerhalb 8 Monaten knöchern überbrückt (Tab. 3). Am Oberschenkel blieb die Hei-

lung in 1/8 der Fälle aus (Tab. 6). Es ist schwierig zu beurteilen, ob dies an der Größe des Defektes, der ungenügenden Stabilität oder der zu frühen Belastung liegt. In einigen Fällen konnte durch eine mediale Abstützung gegenüber der Osteosyntheseplatte eine verbesserte Stabilität erreicht werden, wie sie auch von anderen Autoren beschrieben wurde (Kuner et al. 1972, Jäger et al. 1973, Lintner et al. 1977, Sauer et al. 1978). Eine Entfernung nicht mehr ernährter Kortikalisfragmente im Bereich der Trümmerzone verschafft dem Transplantat ebenfalls günstigere Einheilungsbedingungen (Rehn 1976).

Eine früh beginnende Einheilung und geringe Mißerfolgsrate konnten nach Tibiakopfimpressionsfrakturen beobachtet werden (Tab. 6). Der aufgefüllte Impressionsdefekt war meistens innerhalb von 10 Monaten knöchern strukturiert (Tab. 6). Bei den Pilontibialfrakturen heilte das kortiko-spongiöse Knochengewebe zwischen dem 5. und 10. Monat gut ein. Diese guten Einheilungserfolge der autologen Knochentransplantate sind wohl durch ein gut vaskularisiertes, stabiles Transplantatlager bedingt.

Osteotomien

Nach Korrekturosteotomien am Unterschenkel wurde bis auf einen Fall der kortiko-spongiöse Span spätestens bis zum 15. Monat nach der Operation knöchern fest eingebaut (Tab. 6). Die längeren Einheilungszeiten lagen meistens bei Patienten vor, bei denen eine Fraktur in Verkürzung ausgeheilt war und nun nach kontinuierlicher Distraktion mit Hilfe eines Wagner-Geräts ein größerer kortiko-spongiöser Block zwischen die Frakturenden eingesetzt wurde. Auch bei den vier ausbleibenden Heilungen am Oberschenkel handelte es sich in allen Fällen um Verlängerungsosteotomien. Als Folge einer, wenn auch geringen Instabilität kommt es zur teilweisen Resorption der Spongiosa. Bei Plattenosteosynthese mit knöcherner Fragmentabstützung ist die Stabilität besser und der Einbau des Transplantates weniger gefährdet.

Das lockere Knochengewebe wird langsam zu belastungsfähiger Kortikalis umstrukturiert (Rehn 1976).

Bei Aufrichtungsosteotomien am Unterschenkel mit Interposition autologer Knochenteile und einer Plattenosteosynthese konnten etwas frühere strukturelle Einheilungen (innerhalb 12 Monaten) als ohne Osteosynthese erzielt werden. Ohne Plattenosteosynthese heilte das Transplantat spätestens nach 15 Monaten strukturiert ein. Die besten Heilungserfolge zeigten sich mit und ohne Plattenosteosynthese am proximalen Unterschenkel.

Zysten und Nekrosen

Die Klassifizierung der tumorähnlichen Veränderungen am Knochen erfolgt vor allem nach histologischen Gesichtspunkten. Das klinische Erscheinungsbild, die häufige Neigung zu Rezidiven und Spontanfrakturen erschweren jedoch oft die Therapie. Als das beste und am meisten angewandte Verfahren wird die Ausräumung der Zyste mit Anfrischung bis in das umgebende gesunde Knochengewebe und anschließender Einbringung von Eigen- oder Fremdknochen angesehen.

Bei den Knochenzysten konnte bis zum 6. Monat postoperativ keine sichere Einheilung beobachtet werden (Tab. 6). Das autologe Knochentransplantat heilte bei den juvenilen Knochenzysten erst nach 6 bis 12 Monaten ein. Schlechte Ergebnisse wurden bei den aneurysmatischen Zysten erzielt. In zwei Fällen erfolgte eine Ausheilung der Knochenzysten; zweimal wurde das Transplantat am proximalen Humerus resorbiert. Bei den Femurkopfnekrosen konnte eine weitgehende strukturelle Einheilung des Transplantats in 8 bis 20 Monaten festgestellt werden.

Schweiberer (1970) konnte bei den juvenilen Zysten einen Einbau der Spongiosa nach 4 Monaten nachweisen. Oftmals sind noch Aufhellungen oder kalkdichtere Zonen in der Zystenhöhle zu erkennen. Deshalb ist es nicht eindeutig festzustellen, ob es sich hierbei schon um ein Rezidiv handelt (Schweiberer (1970). Um Rezidive zu vermeiden, wurde bei

juvenilen und aneurysmatischen Knochenzysten die En-bloc-Resektion empfohlen. Dabei sollte die Zystenwand mitentfernt werden, die Höhle dicht mit spongiösem beziehungsweise kortiko-spongiösem Material aufgefüllt werden und gegebenenfalls eine stabile Osteosynthese durchgeführt werden (Schmelzeisen und Weller 1977). Die Anwendung eines Rippenresektats zur Überbrückung der entstandenen Defekte bewirkt ein günstiges Behandlungsergebnis. Die Resthöhle wird zusätzlich mit kortiko-spongiösen Chips aufgefüllt (Schmelzeisen und Weller 1977). Die Einheilungszeiten solcher Rippentransplantate betrugen bei den hier untersuchten Fällen zwischen 8 und 20 Monaten. Ausgedehnte juvenile Zysten stellen einen Indikationsbereich für die Segmentresektion mit Spanüberbrückung und Osteosynthese dar (Mittelmeier 1965, Witt et al. 1972, Harms und Groh 1978).

Bei der Behandlung der juvenilen Knochenzyste am proximalen Femurende wurden mit einer neuen Methode, der intertrochantären Verschiebeosteotomie nach Imhäuser, gute Heilungserfolge erzielt (Imhäuser 1963, 1967, Eder und Spranger 1978, Steinhäuser 1981). Eine Heilung erfolgte in 3 bis 4 Monaten nach Festigung der Osteotomie. Inzwischen wurde die Operationsmethode mit gutem Erfolg in einigen wenigen Fällen auch am Humerus durchgeführt (Imhäuser 1967, Steinhäuser 1981).

Transplantatlager

Lexer (1924) prägte die Begriffe des ersatzunfähigen, ersatzschwachen und ersatzstarken Lagers. Wichtige Voraussetzungen für die Einheilung des Transplantats sind eine ausreichende Vaskularisation des Transplantatlagers, mechanische Ruhe im Transplantatlager, gegebenenfalls durch stabile Fixation und funktionelle Beanspruchung des Transplantats (u.a. Lexer 1924, Stringa 1957, Schweiberer 1971, Sauer et al. 1978, van der Werken et al. 1979). Bei ge-

schlossenen Frakturen und Osteotomien findet das Knochentransplantat im Allgemeinen ein stabiles Lager mit guter Durchblutung vor. Besonders bei Tibiakopfimpressionsfrakturen und Pilontibialfrakturen lassen sich, bedingt durch das stabile Lager, gute Heilungserfolge erzielen. Der erhöhte Anteil von primär ausbleibenden Heilungen bei Frakturen und Osteotomien am Femur sind wohl ein Problem der Stabilität. Eine mediale knöcherne Fragmentabstützung mit gegenüberliegender Osteosyntheseplatte verbessert die Einheilung des Knochentransplantats. Aufgrund guter ortständiger Knochenregeneration weisen besonders juvenile Knochenzysten geringe Probleme bei den Transplantationen auf (Schweiberer 1976).

Bei den offenen Frakturen ist davon auszugehen, daß die Einheilung des Transplantates durch den primären Gefäßschaden und devitalisierte Fragmente des Transplantatlagers erschwert ist, sodaß eine Revaskularisation des Transplantats verspätet einsetzt. Wie bei den Frakturen und Osteotomien am Femur steht bei der Behandlung der Pseudarthrosen das Problem der Stabilisierung im Vordergrund. Jedoch gelten die atrophen und Defektpseudarthrosen als ersatzschwaches und ersatzunfähiges Lager (Schweiberer 1971). Eine Entfernung des gefäßarmen Narbengewebes und eine anschließende Dekortikation verbessern die Durchblutungsverhältnisse, sodaß es durch die Anfrischung der Kortikalis zu einer rascheren Verbindung zwischen Wirtsknochen und Transplantat kommt (Willenegger et al. 1969, Kuner et al. 1972, Rehn 1976, Schweiberer 1976).

Anlagerungstechnik

Zur Verbesserung der Stabilität im Transplantationslager sind unterschiedliche Anlagerungstechniken bei den einzelnen Indikationen sinnvoll (Tab. 2). Die Heilungsquote aller Indikationen lag durchschnittlich bei 89 % (Tab. 7).

Für die einzelnen Indikationsbereiche wurde immer eine besondere Anlagerungsart bevorzugt gewählt. Hinsichtlich der Anlagerungsart konnten keine unterschiedlichen Einheilungszeiten festgestellt werden. Lediglich mit Hilfe einer zusätzlich durchgeführten Dekortikation konnte häufig eine raschere Einheilung ermöglicht werden.

Die autologe Knochentransplantation stellt für folgende Indikationen, meist in Verbindung mit einem Verfahren der Osteosynthese, eine gute Behandlung dar: Anlagerung bei Mehrfragment- und Defektfrakturen, bei verzögerter Heilung, bei atrophen und Defektpseudarthrosen, bei Defekten nach Zysten- und Tumorresektion. Vorbedingungen für das Gelingen einer autologen Knochentransplantation sind jedoch, daß am Knochendefekt avitale Fragmente und altes Granulationsgewebe entfernt werden. In das gut vorbereitete Transplantatlager muß nicht nur spongiöses oder kortiko-spongiöses Knochenmaterial in Form und Größe des Defektes eingesetzt werden, sondern die autologen Transplantate sollen die Fragmentenden am Defekt der Fraktur oder Pseudarthrose seitlich überragen, um eine spindelförmige, solide Defektüberbrükkung zu erreichen.

Für die Belastbarkeit nach der Heilung ist schließlich eine strukturelle Anpassung gemäß der Funktion wichtig.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden 397 autologe Knochentransplantate kontrolliert, die innerhalb von 5 1/2 Jahren in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen durchgeführt wurden.

Es wurden die am häufigsten angewandten Entnahmetechniken und die verschiedenen Anlagerungsmöglichkeiten des autologen Knochengewebes beschrieben.

Häufigster Entnahmeort der autologen Spongiosa war der Beckenkamm, gefolgt vom Trochanter major und der Tibia sowie in Einzelfällen die proximale Ulna.

Die Indikationsgebiete zur autologen Knochentransplantation waren Frakturen, Osteotomien, Pseudarthrosen und Knochenzysten an den langen Röhrenknochen. Bei den Pseudarthrosen wurden auch solche an der Clavicula und am Os naviculare berücksichtigt.

Die autologen Knochentransplantate heilten durchschnittlich in 4-12 Monaten strukturiert ein. Eine verlängerte Einheilungszeit zwischen 6 und 20 Monaten wurde bei den juvenilen und aneurysmatischen Zysten beobachtet. Eine ähnlich verlängerte Einheilungszeit konnte auch bei offenen Frakturen nachgewiesen werden, bei denen offenbar ungünstigere Bedingungen des Transplantatlagers vorliegen. 65 % der Pseudarthrosen am Os naviculare waren nach 5 Monaten knöchern überbrückt.

Durch Dekortikation konnte bei allen Pseudarthrosen ein verbessertes Einheilungsergebnis erreicht werden, wobei die durchschnittliche Dauer bis zur strukturierten Einheilung 4-10 Monate in Anspruch nahm.

Autologe Transplantate bei größeren Defekten wurden in einigen Fällen am Femur resorbiert. Als Ursache wird eine Instabilität der Fragmente verantwortlich gemacht.

Als Komplikationen wurden an der Entnahmestelle des autologen Transplantates gelegentlich Hämatome, an der Anlagerungsstelle Hämatome und in 3 % Infektionen beobachtet.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

ALBEE, F.H. - Certain fundamental laws underlying the surgical use of bone grafts. Ann. Surg. 74 (1921) 196.

ALBREKTSSON, T. & L. LINDER - Intravital, Long-Term Follow-up of Autologous Experimental Bone Grafts. Archiv. Orthop. Traumat. Surg. 98, 3 (1981) 189.

AXHAUSEN, G. - Histologische Untersuchungen über Knochentransplantationen am Menschen. Dtsch. Z. Chir. 91 (1908 a) 388.

- Die histologischen und klinischen Gesetze der freien Osteoplastik aufgrund von Tierversuchen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 88 (1909) 23.

AXHAUSEN, W. - Die histologischen Gesetze der freien Knochenüberpflanzung. Inaug.-Diss. Berlin 1945.

- Die Quellen der Knochenneubildung nach freier Transplantation. Langenbecks Arch. klin. Chir. 270 (1951) 439.

- Die Knochenregeneration - ein zweiphasiges Geschehen. Zentralblatt f. Chir. (1952) H. 11.

- Die Bedeutung der Individual- und Artspezifität der Gewebe für die freie Knochenüberpflanzung. Hefte Unfallheilkunde 72 (1962).

BARTH, A. - Über histologische Befunde nach Knochenimplantationen. Langenbecks Arch. klin. Chir. 46 (1893) 409.

- Über Osteoplastik in chirurgischer Beziehung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 48 (1894) 466.

- Histologische Untersuchungen über Knochenimplantationen. Beitr. path. Anat. 17 (1895) 65.

BRÜCKLE, H. - Zur Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose. Handchirurgie 7 (1975) 121.

BUCK-GRAMCKO, D. - Die operative Behandlung der Kahnbeinpseudarthrose. Verh. dtsch. orthop. Ges. 53. Kongr. (1966) 273.

BURRI, C. & D. WOLTER - Das komprimierte autologe Spongiostransplantat. Unfallheilkunde 80 (1977) 169.

BURWELL, R.G. - Osteogenesis in cancellous bone grafts: Considered in terms of cellular changes, basic-mechanism and the perspective of growth-control and its possible aberrations. Clin. Orthop. 40 (1965) 35.

CHALMERS, J. - Transplantation immunity in bone homografting. J. Bone Jt. Surg. B 41 (1959) 160.

DAMBE, L.T., K. SAUR, F. EITEL & L. SCHWEIBERER - Morphologie der Einheilung von frischen autologen und homologen Spongiosatransplantaten in Diaphysendefekten. Unfallheilkunde 84 (1981) 115.

DECKER, S., J. REHN, M. v. DÜRING & B. DECKER - Morphologisch-experimenteller Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge bei der Verpflanzung von autologer Beckenkammspongiosa bei Hunden. Arch. orthop. Unfall-Chir. 85 (1976) 303.

- J. MÜLLER-FÄRBER & B. DECKER - Die Knochenneubildung im autologen Spongiosatransplantat - morphologisch-experimentelle Untersuchungen. Plast. Chir. Bd. 3, H. 3 (1979) 159.

- & K.H. MÜLLER - Morphologisch-experimentelle Untersuchungen über die vom Lager ausgehende Vaskularisation autologer Spongiosatransplantate. In Transplantatlager und Implantatlager bei verschiedenen Operationsverfahren. (Hersaug. G. Hierholzer u. H. Zilch) Berlin, Springer 1980.

ECKE, H. - Die Transplantation der Epiphysenfuge. Ferdinand Enke, Stuttgart 1967.

EDER, H. & M. SPRANGER - Zur Problematik der operativen Therapie von Knochenzysten am koxalen Femurende. Z. Orthop. 116 (1978) 214.

EITEL, F., L. SCHWEIBERER, K. SAUR, L.T. DAMBE & F. KLAPP - Theoretische Grundlagen der Knochentransplantation: Osteogenese und Revascularisation als Leistung des Wirtslagers. In Transplantatlager und Implantatlager bei verschiedenen Operationsverfahren (Herausg. G. Hierholzer u. H. Zilch) Berlin, Springer 1980

ERTL v., J. - Regeneration und ihre Anwendung in der Chirurgie. Barth, Leibzig 1939.

FASOL, P., P. MUNK & M. STRICKNER - Blutgefäßversorgung des Handkahnbeins. Acta Anat. (Basel) 100 (1) (1978) 27.

FLEISCHER, H. - Die autoplastische Spongiosaeinpflanzung bei Kahnbeinpseudarthrosen. Langenbecks Arch. Chi. 309, 1 (1965) 68.

FROST, H.M. - Bone remodelling dynamics. Springfield (III.), Cl. C. Thomas 1963.

HARMS, J. & P. GROH - Ergebnisse der Resektion, autologen Spanplastik und Überbrückungsosteosynthese juveniler Knochenzysten. Arch. Orthop. Traumat. Surg. 92 (1978) 285.

HAUS, P. - Pseudarthrosen des Handskeletts unter besonderer Berücksichtigung sanierender Behandlungsmethoden. Inaugural Dissertation, Tübingen 1977.

IMHÄUSER, G. - Zur Therapie der großen jugendlichen Knochenzysten im oberen Femurbereich. Chirurg 34 (1963) 226.

- Heilung großer jugendlicher Knochenzysten durch Verschiebeosteotomie. Zschr. f. Orthop. 2 (1967) 88.

JÄGER, M., W. KUSSWETTER, C.J. WIRTH & A.N. WITT - Nachuntersuchungsergebnisse bei Plattenverschraubung mit und ohne autologen Span zur Behandlung von Callusverzögerungen und Pseudarthrosen. Arch. Orthop. Unfallchir. 77 (1973) 203.

KUNER, E.H., S. WEYAND & B. DOMRES - Zur Leistungsfähigkeit der autologen Spongiosaplastik bei der Behandlung knöcherner Defekte. Unfallheilkunde 75 (1972) 189.

LEXER, E. - Die freien Knochentransplantationen. Neue Dtsch. Chir. 26 (1924) 15.

- 20 Jahre Transplantationsforschung. Langenbecks Arch. klin. Chir. 138 (1925) 251.

- Operationen bei Pseudarthrosen. Zentralblatt f. Chir. 16 (1936).

LINTNER, P., C. BURRI, L. CLAES & P. HUTZENREUTER - Biomechanische Untersuchungen zur Stabilitätswirkung cortico-spongiöser Späne bei Defektosteosynthesen. Langenbecks Arch. Chir. Suppl. Forum 77 (1979) 79.

MARCHAND, F. - Zur Kenntnis der Knochentransplantationen. Verh. dtsch. Ges. Path. (1899) 368.

- Der Prozeß der Wundheilung mit Einschluß der Transplantation. Ferdinand Enke, Stuttgart 1901.

MATTI, H. - Über freie Transplantationen von Knochenspongiosa. Langenbecks Arch. klin. Chir. 168 (1932) 236.

- Über die Behandlung von Pseudarthrosen mit Spongiosatransplantation. Arch. orthop. Unfallchir. 31 (1932) 218.

- Über die Behandlung der Naviculare refraktur und der Refractura patellae durch Plombierung mit Spongiosa. Zentralblatt f. Chir. 64 (1937) 2353.

MAYER, G. - Ergebnisse der operativen Behandlung von posttraumatischen Pseudarthrosen der langen Röhrenknochen. Beitr. Orthop. u. Traumatol. 24, H. 9 (1977) 160.

MEINE, J., D. BUCK-GRAMCKO & N. NIGST - Die Kahnbeinpseudarthrose: Ergebnisse verschiedener Behandlungsmethoden. Handchir. 6 (1974) 181.

MITTELMEIER, H. - Resektion und freie Spanplastik zur Behandlung rezidiver Knochenzysten des Humerus. Langenbecks Arch. klin. Chir. 309 (1965) 122.

MÜLLER, M.E., M. ALLGÖWER & H. WILLENEGGER - Manual der Osteosynthese. Berlin, Springer 1969.

OLLIER, L. - Traité experimentale et clinique des os et de la production artificielle du Tissue osseaux. Paris: Masson & Cie 1867.

OTTO, W. - Vorderarmschaftpseudarthrosen - Ursachen und Behandlung. Beitr. Orthop. u. Traumatol. 24, H. 2 (1977) 174.

PETROW, N.N. - Zur Frage nach der Quelle der Regeneration bei Knochenüberpflanzungen. Arch. klin. Chir. Bd. 105, H. 4 (1914) 915.

PHEMISTER, D.B. - Treatment of unimited fractures by onlay bone-grafts without screw or tie fixation and without breaking down of the fibrous union. J. Bone Jt. Surg. 29 (1947) 946.

REHN, J. - Erfahrungen mit der autologen Spongiosa bei Defektüberbrückungen nach Frakturen und Pseudarthrosen. Nova Acta Leopold. 223 (1976) 381.

RUSSE, O. - Erfahrungen und Ergebnisse bei der Spongiosaauffüllung der veralterten Brüche und Pseudarthrosen des Kahnbeins der Hand. Wiederherst. u. Traumatol. 2 (1954) 175.

RUSSE, O. - Nachuntersuchungsergebnisse von 22 Fällen operierter veralteter Brüche und Pseudarthrosen des Kahnbeins der Hand. Z. Orthop. 93 (1960) 5.

SAUER, H.D., D. NIESE, H. SCHÖTTLE & K.H. JUNGBLUT - Die stabilisierende Wirkung des autologen corticospongiösen Spanes in der Behandlung knöcherner Defekte. Unfallheilkunde 81 (1978) 565.

SAUR, K., L.T. DAMBE & L. SCHWEIBERER - Experimentelle Untersuchungen zum Einbau autologer Spongiosa in die Compacta des Röhrenknochens. Arch. orthop. Traumatol. Surg. 92 (1978) 211.

SCHMELZEISEN, H. & S. WELLER - Probleme bei der operativen Behandlung der Knochenzysten. Akt. Traumatol. 7 (1977) 185.

SCHRAMM, W. - Klinische und experimentelle Untersuchungen über die Transplantation autoplastischer Spongiosa. Unfallheilkunde 104 (1970).

SCHEIBERER, L. - Experimentelle Untersuchungen von Knochentransplantaten mit unveränderter und mit denaturierter Knochengrundsubstanz. Unfallheilkunde Suppl. 103 (1970).

- Der heutige Stand der Knochentransplantation. Chir. 41 (1971) 252.

- Die Bedeutung der autologen Spongiosatransplantation sowie Fragen der Revascularisation von Transplantaten. Nova Acta Leopold. 223 (44) (1976) 371.

STEINHÄUSER, J. - Zur Verschiebeosteotomie in der Therapie großer jugendlicher Knochenzysten. Z. Orthop. 119 (1981) 331.

STRINGA, G. - Studies of the vascularisation of bone grafts. J. Bone Jt. Surg. 39 B (1957) 395.

URIST, M.R., T.H. WALLACE & T. ADAMS - The functions of fibrocartilaginous fracture callus: observations on transplants labelled with tritiated thymidine. J. Bone Jt. Surg. B47 (1965) 304.

- H. IWATAWA, S.D. BOYD & P.L. CECOTTI - Observations implicating an extracellular enzymatic mechanism of control of bone morphogenesis. J. Histochem. Cytochem. 22 (1974) 103.

VOORHOEVE, A. - Ergebnisse bei der operativen Behandlung des Kahnbeinfalschgelenkes der Hand. Arch. orthop. Unfallchir. 68 (1970) 66.

WEBER, U., V.M. BECERRA-URTIAGA & E. GROSS - Die Transplantation periostgedeckter kortikospongiöser Knochenspäne zur Behandlung von Frakturen und Pseudarthrosen langer Röhrenknochen. Zeitsch. f. Orthop. u. ihre Grenzgebiete 116 (1978) 27.

WERKEN v.d. C., C. BURRI & D. WOLTER - Autologe Spongiosatransplantation. Akt. Traumatol. 9 (1977) 197.

WILLENEGGER, H., M.E. MÜLLER & M. ALLGÖWER - Manual der Osteosynthese. Berlin, Springer 1969.

WIPFLI, P. - zitiert nach HAUS P.
Operative Behandlung von Naviculare-Pseudarthrosen der Hand. Inaugural-Dissertation Zürich 1961.

WITT, A.N. & M. JÄGER - Die Berechtigung und Indikation autoplastischer Spantransplantation in der heutigen orthopädischen Chirurgie. Chir. Plast. reconstr. 2 (1966) 48.

- K. WALCHER & H. ZENKER - Die Resektionsbehandlung rezidiver juveniler Knochenzysten. Arch. Orthop. Unfallchir. 74 (1972) 105.

WITT, A.N. & M. JÄGER - Ergebnisse der autologen Knochentransplantation der Orthopädischen Klinik München. Nova Acta Leopold. 223 (44) (1976) 399.

WOLTER, D., P. HUTZSCHENREUTER & C. BURRI - Einbaustudien autologer Spongiosa am Kompaktknochen in Abhängigkeit von der übertragenen Menge und des anliegenden Gewebes. Langenbecks Arch. Chir. Suppl. Chir. Forum 1974, 225.

- P. HUTZSCHENREUTER, C. BURRI & B. STEINHARDT - Einbau autologer Spongiosa am Kompaktknochen in Abhängigkeit von der Vitalität der transplantierten Zellen. Langenbecks Arch. Chir. Suppl. Chir. Forum 1975, 383.

ZICHNER, L. & W. HEIPERTZ - Zur operativen Behandlung von Pseudarthrosen. Therapiewoche 29 (1979) 8516.

Lebenslauf

Am 18. September 1953 wurde ich als Tochter des Dr. med. Ernst L. Borell, Arzt für Unfallchirurgie, und seiner Ehefrau Anneliese geb. Löffler in Freiburg im Breisgau geboren.
Von 1960 - 1964 besuchte ich die Volksschule in Gaggenau, 1964 wechselte ich auf das Goethe-Gymnasium in Gaggenau über, an dem ich 1972 das Abitur ablegte.
Im Wintersemester 1972/1973 studierte ich an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz Chemie.
Von April 1973 bis April 1975 absolvierte ich die Ausbildung zur Medizinisch-Technischen-Laboratoriumsassistentin an der Universität Freiburg im Breisgau.
Von Mai 1975 bis März 1976 arbeitete ich halbtags als Sprechstundenhilfe in einer ärztlichen Praxis in Paris. Während dieser Zeit besuchte ich Sprachkurse an der Alliance Francaise und an der Sorbonne.
In der Zeit von April 1976 bis März 1978 war ich im Friedrich-Miescher-Laboratorium, Max-Planck-Institut für Virusforschung, in Tübingen als Medizinisch-Technische-Assistentin tätig.
Im Wintersemester 1977/1978 begann ich an der Universität Ulm das Studium der Medizin. Nach dem Physikum wechselte ich zum Wintersemester 1979/1980 an die Eberhard-Karls-Universität Tübingen.
Mein Studium schloß ich am 5. April 1984 mit dem schriftlichen Teil und am 10. April 1984 mit dem mündlichen Teil des dritten Abschnittes der Ärztlichen Prüfung in Tübingen ab.

Seit 24. Juli 1981 bin ich mit Dipl. Biol. Dr.rer.nat. Gerhard Kost verheiratet, am 22. November 1982 wurde unser Sohn Christoph geboren.